

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-237341

(43)Date of publication of application : 09.09.1997

(51)Int.Cl.

G06T 7/00

G01B 11/00

(21)Application number : 08-042764

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 29.02.1996

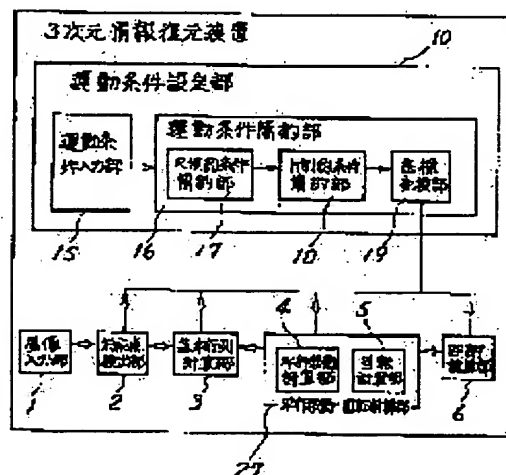
(72)Inventor : KAMATA HIROSHI

(54) DEVICE FOR RESTORING THREE-DIMENSIONAL INFORMATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To extend an applicable picture range by simplifying a motional condition based upon a restriction condition to a three-dimensional (3D) rotating matrix and a restriction condition to a 3D parallel moving vector.

SOLUTION: A picture input part 1 inputs two pictures obtained by catching a 3D rigid body by a camera, a corresponding point detection part 3 detects corresponding points between two pictures and a reference matrix detection part 3 calculates a reference matrix from the 3D rotating matrix R and 3D parallel movement vector (h) of the camera between the two pictures. In a parallel movement/rotation calculating part 27, a parallel movement calculating part 4 calculates the vector (h) and a rotation calculating part 45 calculates the matrix R. A distance calculation part 6 calculates distances r, r' between the camera and respective corresponding points in the 3D space. In a motional condition setting part 10, a restriction condition to the matrix R and a restriction condition to the vector (h) are inputted by a motional condition input part 15 as the motional conditions of the camera. A motional condition simplifying part 16 simplifies motional conditions to be the restriction conditions of the matrix R and the vector (h) based upon respective restriction conditions.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-237341

(43) 公開日 平成9年(1997)9月9日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 6 T 7/00

G 0 1 B 11/00

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 6 F 15/62

G 0 1 B 11/00

技術表示箇所

4 1 5

H

審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 60 頁)

(21) 出願番号

特願平8-42764

(22) 出願日

平成8年(1996)2月29日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 鎌田 洋

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 今村 辰夫 (外1名)

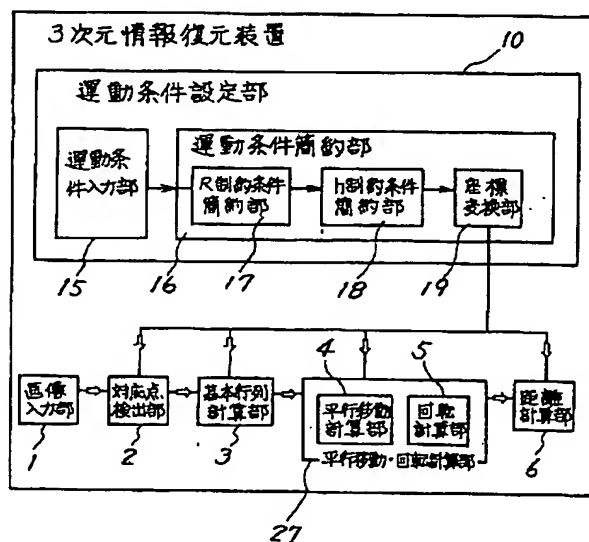
(54) 【発明の名称】 3次元情報復元装置

(57) 【要約】

【課題】本発明は3次元情報復元装置に関し、8個より少ない対応点により、3次元情報の復元ができるようにして、適用可能な画像の範囲を拡大する。

【解決手段】3次元剛体を捉えた2画像を入力する画像入力部1、2画像間の対応点を検出する対応点検出部2、2画像間の3次元回転行列R及び3次元平行移動ベクトルhから基本行列Gを計算する基本行列計算部3、hを計算する平行移動計算部4及びRを計算する回転計算部5からなる平行移動・回転計算部27、3次元空間におけるカメラと対応点との距離を計算する距離計算部6、運動条件を入力する運動条件設定部10を備え、運動条件設定部10には、カメラの運動条件として、R及びhの制約条件を入力する運動条件入力部15、前記R及びhの制約条件から、Rとhの制約条件としての運動条件を簡約化する運動条件簡約部16を備えた。

本発明の原理説明図



【特許請求の範囲】

【請求項1】カメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力する画像入力部と、前記2画像間の対応点を検出する対応点検出部と、前記2画像間のカメラの3次元回転行列R、及び3次元平行移動ベクトルhから式 $G=R \times h$ で定義される基本行列Gを計算する基本行列計算部と、3次元平行移動ベクトルhを計算する平行移動計算部、及び3次元回転行列Rを計算する回転計算部からなる平行

$\{G_k\}$

を線型展開する最小p個の元

【数2】

$\{g_i\}$

を定めて、p-1個の対応点の2画像上の2次元位置を検出し、

前記基本行列計算部は、前記最小p個の元

【数3】

$\{g_i\}$

に関する連立方程式により、

【数4】

$\{g_i\}$

を計算し、基本行列Gを求める計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした3次元情報復元装置。

【請求項2】前記運動条件設定部は、カメラの運動条件として、前記3次元回転行列Rの制約条件、及び3次元平行移動ベクトルhの制約条件を入力する運動条件入力部と、

前記運動条件入力部が入力した3次元回転行列Rの制約条件、及び3次元平行移動ベクトルhの制約条件から、前記Rとhの制約条件としての運動条件を簡約化する運動条件簡約部を備えていることを特徴とした請求項1記載の3次元情報復元装置。

【請求項3】前記運動条件入力部は、前記3次元回転行列Rの制約条件を、特定座標軸の回りの回転の合成、又は既知として、

- ・ X軸回転×Y軸回転×Z軸回転
- ・ X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内、異なる2つの合成
- ・ X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内の1つ
- ・ 前記の形式の既知回転
- ・ 回転なし

の2通りいずれかを入力すると共に、

前記3次元平行移動ベクトルhの制約条件を、特定座標軸に関する移動の合成、又は既知として、

- ・ 3次元空間移動
- ・ 座標平面上の移動
- ・ 前記の形式の既知移動

移動・回転計算部と、3次元空間におけるカメラと対応点との距離r、r'を計算する距離計算部を備え、入力した2次元画像情報から3次元情報を復元する3次元情報復元装置において、

カメラの運動条件を入力して設定する運動条件設定部を備え、前記対応点検出部は、前記運動条件設定部が設定した運動条件の元で、前記基本行列Gの9個の要素

【数1】

・ 座標軸上の既知移動

の11通りのいずれかを入力する機能を備えていることを特徴とした請求項2記載の3次元情報復元装置。

【請求項4】前記運動条件簡約部は、3次元回転行列Rの制約条件を、

- ・ X軸回転×Y軸回転×Z軸回転
- ・ X軸回転×Y軸回転
- ・ X軸回転
- ・ 前記の形式の既知回転
- ・ 回転なし

の7通りのいずれかに変換するための座標軸交換処理を行うR制約条件簡約部を備えていることを特徴とした請求項3記載の3次元情報復元装置。

【請求項5】前記運動条件簡約部は、

X軸回転×Y軸回転×Z軸回転の未知回転、既知回転、回転無しの各Rの制約条件に対して、X、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動の各hの制約条件に変換すると共に、

X軸回転の未知回転、既知回転の各Rの制約条件に対して、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動、YZ平面上の未知移動、既知移動、Y軸上の既知移動の各hの制約条件に変換するh制約条件簡約部を備えていることを特徴とした請求項4記載の3次元情報復元装置。

【請求項6】前記h制約条件簡約部は、前記3次元平行移動ベクトルhの制約条件に変換してから、座標軸の向きの交換処理により、座標軸上の既知移動であるhの制約条件を座標軸上の正方向1の移動条件にする機能を備えていることを特徴とした請求項5記載の3次元情報復元装置。

【請求項7】前記運動条件簡約部は、運動条件{R, h}に対し、U、Vを既知の3次元回転行列とした場合、座標交換により運動条件{URV, Uh}に変換する座標交換部を備えていることを特徴とした請求項5記載の3次元情報復元装置。

【請求項8】座標交換部は、3次元回転行列Rが既知ならば、単位行列をIとした場合、運動条件{R, h}を運動条件{I, h}に変換する機能を備えていることを

特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項9】座標変換部は、3次元平行移動ベクトルhが既知ならば、Wh=X軸単位ベクトルとなる3次元回転行列Wを用いて、運動条件{R, h}を運動条件{Wh, X軸単位ベクトル}に変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項10】座標変換部は、3次元回転行列RがX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知の3次元空間移動の場合は、UhがXY平面上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項11】座標変換部は、3次元回転行列RがX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面上移動の場合は、UhがZ軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項12】座標変換部は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知の3次元空間移動の場合は、UhがXY平面上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項13】座標変換部は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面

上移動の場合は、UhがY軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項14】座標変換部は、座標軸交換処理を行い、制約無し、若しくは既知の場合を除き、3次元回転行列R及び3次元平行移動ベクトルhのそれぞれに対し、R1:X軸回転×Y軸回転×Z軸回転、R2:X軸回転×Y軸回転、R3:X軸回転、R4:回転無し、h1:3次元空間移動、h2:XY平面移動、h3:YZ平面移動、h4:ZX平面移動、h5:XY平面移動(既知)、h6:X軸移動(既知)、h7:Y軸移動(既知)とし、前記3次元回転行列Rと3次元平行移動ベクトルhからなる運動条件を{R, h}とした場合、{R, h}={R1, h2}、{R1, h6}、{R2, h1}、{R2, h2}、{R2, h3}、{R2, h4}、{R2, h5}、{R2, h6}、{R2, h7}、{R3, h1}、{R3, h2}、{R3, h3}、{R3, h5}、{R3, h6}、{R3, h7}、{R4, h1}、{R4, h2}の17個の運動条件のいずれかに変換する機能を備えていることを特徴とした請求項7記載の3次元情報復元装置。

【請求項15】前記運動条件{R1, h2}が入力された場合、前記距離計算部は、3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を(,)₁₂で表した場合、式

【数5】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm')_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

(m, m': 単位ベクトルに正規化したベクトル)により、3次元空間におけるカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項16】前記運動条件{R1, h6}が入力された場合、前記基本行列計算部は、

【数6】

{G_k} の {g_i}

への展開式を

【数7】

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ -(r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) \\ +(r_{21} \ r_{22} \ r_{23}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 \\ \hline 0_{36} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_6 & \vdots & 0_{68} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数8】

の計算式として
【数9】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトルhを既知として処理し、
前記回転計算部は、3次元回転行列Rの計算を行う際、基本行列Gが求まると3次元回転行列Rの第2、第3行も同時に求まることを利用し、Rの第1行は、式 $r_{1i} = (-1)^{1+i} |R_{1i}|$ (R_{1i} : 行列Rから第1行と第i行を除いた部分行列) により、Rの第2行、第3行を用いて計算処理を行い、
前記距離計算部は、式
【数10】

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項17】前記運動条件{R2, h1}が入力され

た場合、前記距離計算部はカメラと対応点との距離 r 、
 r' を式

【数11】

$$r = \frac{(h, m) - (m, Rm') (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m) - (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2}$$

に、 $r_{12}=0$ を固定代入してカメラと対応点との距離
 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴
 とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項18】前記運動条件 $\{R2, h2\}$ が入力され

た場合、前記距離計算部は3次元ベクトルの第1、第2
 成分に関する内積を $(\cdot)_{12}$ で表し、式
 【数12】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行
 う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の
 3次元情報復元装置。

【請求項19】前記運動条件 $\{R2, h3\}$ が入力され
 た場合、基本行列計算部は、

【数13】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

への展開式を

【数14】

$$G = \begin{bmatrix} h_2 & (r_{31} & r_{32} & r_{33}) & -h_3 & (r_{21} & r_{22} & r_{23}) \\ h_3 & (r_{11} & 0 & r_{13}) & -h_2 & (r_{11} & 0 & r_{13}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & 0 & g_{23} \\ g_{31} & 0 & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{33} \\ g_{22} \\ g_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \left[\begin{array}{c|c} I_7 & \\ \hline & 0_{27} \end{array} \right], \quad {}^tA = \left[\begin{array}{c|c} I_7 & \\ \hline & 0_{72} \end{array} \right]$$

として計算し、
【数15】

の計算式として、
【数16】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\} \ i=1, \dots, 9 = {}^tA \ \{\underline{M}_i\} \ i=1, \dots, 9$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \\ \underline{m}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \\ \underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部、及び回転計算部は、式

【数17】

$$h_2 = + - (g_{31}^2 + g_{33}^2)^{1/2}$$

a) $h_2 \neq 0$ のとき

$$(r_{11}, 0, r_{13}) = - (g_{31}, 0, g_{33}) / h_2$$

$$h_3 = \begin{cases} r_{11} \neq 0 \text{ のとき} : g_{21} / r_{11} \\ r_{13} \neq 0 \text{ のとき} : g_{23} / r_{13} \end{cases}$$

$$R = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi \\ S\theta & C\phi & S\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} \text{ を求めるため } \begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} \text{ を決定する。}$$

a.1) $r_{11} \neq 0$ のとき

$$\begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{h_2^2 + h_3^2} \begin{bmatrix} h_2 g_{13} / r_{11} - h_3 g_{12} \\ h_3 g_{13} / r_{11} + h_2 g_{12} \end{bmatrix}$$

a.2) $r_{13} \neq 0$ のとき

$$\begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{h_2^2 + h_3^2} \begin{bmatrix} -h_2 g_{11} / r_{13} - h_3 g_{12} \\ -h_3 g_{11} / r_{13} + h_2 g_{12} \end{bmatrix}$$

b) $h_2 = 0$ のとき

$h_3 = + - 1$ である。

$$(r_{11}, 0, r_{13}) = (g_{21}, 0, g_{23}) / h_3$$

$$(r_{21}, r_{22}, r_{23}) = - (g_{11}, g_{12}, g_{13}) / h_3$$

$$r_{3i} = (-1)^{3+i} |R_{3i}| \quad (i=1, 2, 3)$$

により3次元平行移動ベクトル h 、及び3次元回転行列 R の計算処理を行い、 関する内積を $(\cdot, \cdot)_{23}$ で表し、式【数18】

前記距離計算部は、3次元ベクトルの第2、第3成分に

$$r = \frac{(h, m)_{23} - (m, Rm') (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{23} - (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項20】前記運動条件 $\{R2, h4\}$ が入力され

た場合、前記距離計算部は3次元ベクトルの第1、第3成分に関する内積を $(\cdot, \cdot)_{13}$ で表し、式【数19】

$$r = \frac{(h, m)_{13} - (m, Rm') (h, Rm')_{13}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{13} - (h, Rm')_{13}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【数20】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【請求項21】前記運動条件 $\{R2, h5\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を

【数21】

$$G = \begin{bmatrix} h_2 (r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) & -h_1 (r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) \\ -h_1 (r_{21} \ r_{22} \ r_{23}) & -h_2 (r_{11} \ 0 \ r_{13}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (g_{11} \ g_{12} \ g_{13}) \\ (-h_1/h_2) (g_{11} \ g_{12} \ g_{13}) \\ (g_{31} \ g_{32} \ g_{33}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_3 & \\ & -h_1/h_2 \ I_3 & 0_3 \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_3 & -h_1/h_2 \ I_3 \\ & 0_3 \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数22】

$\{m_i\}$

の計算式として
【数23】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,6} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,6}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 & -h_1/h_2 & \underline{M}_7 \\ \underline{M}_2 & -h_1/h_2 & \underline{M}_8 \\ \underline{M}_3 & -h_1/h_2 & \underline{M}_9 \\ \underline{M}_4 & & \\ \underline{M}_5 & & \\ \underline{M}_6 & & \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトルhを既
知として処理し、

回転計算部は、式
【数24】

$$(r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) = (g_{11} \ g_{12} \ g_{13}) / h_2$$

$$r_{22} = g_{32} / h_1$$

$$R = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi & -C\theta & S\phi \\ S\theta & C\phi & S\phi & C\theta & C\phi \end{bmatrix} \text{ において}$$

$$(C\phi, S\phi) = (r_{22}, r_{32})$$

$(C\theta, S\theta)$ を求めれば Rが求まる。

a) $r_{22} \neq 0$ のとき

$$(C\theta, S\theta) = (r_{33}, r_{31}) / r_{22}$$

b) $r_{22} = 0$ のとき

$$(C\theta, S\theta) = (h_2 g_{31} + h_1 S\phi g_{33}, h_1 S\phi g_{31} - h_2 g_{33})$$

により3次元回転行列Rの計算処理を行い、
前記距離計算部は、3次元ベクトルの第1、第2成分に

関する内積を $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表し、式
【数25】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行
う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の
3次元情報復元装置。

た場合、基本行列計算部は、
【数26】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【請求項22】前記運動条件 $\{R2, h6\}$ が入力され

への展開式を

$$G = \begin{bmatrix} (0 & 0 & 0) \\ -(r_{31} & r_{32} & r_{33}) \\ +(r_{21} & r_{22} & r_{23}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \quad \text{【数27】}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 & \\ & 0_{33} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_6 & \\ & 0_{33} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数28】の計算式として
【数29】 $\{\underline{m}_i\}$ $\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトルhを既知として処理し、
前記回転計算部は、3次元回転行列Rの計算を行う際、基本行列Gが求まると3次元回転行列Rの第2、第3行も同時に求まることを利用し、Rの第1行は、式 $r_{1i} = (-1)^{1+i} |R_{1i}|$ (R_{1i} : 行列Rから第1行と第i行を除いた部分行列) により、Rの第2行、第3行を用いて3次元回転行列Rの計算処理を行い、
前記距離計算部は、式
【数30】

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項23】前記運動条件 {R2, h7} が入力された場合、基本行列計算部は、
【数31】

への展開式を
【数32】

$\{G_r\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} (r_{31} & r_{32} & r_{33}) \\ (0 & 0 & 0) \\ (r_{11} & 0 & r_{13}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ g_{31} & 0 & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G_1} \\ \underline{G_2} \\ \underline{G_3} \\ \underline{G_4} \\ \underline{G_5} \\ \underline{G_6} \\ \underline{G_7} \\ \underline{G_8} \\ \underline{G_9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{33} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 \\ \dots \\ 0_{45} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_6 & \dots & 0_{54} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数33】

の計算式として
【数34】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 5} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 5}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトルhを既知として処理し、
前記回転計算部は、3次元回転行列Rの計算を行う際、基本行列Gが求まると3次元回転行列Rの第1、第3行も同時に求まることを利用し、Rの第2行は、式 $r_{2i} = (-1)^{2+i} |R_{2i}| (R_{2i} : \text{行列Rから第2行と第i行を除いた部分行列})$ により、Rの第2行、第3行を用いて3次元回転行列Rの計算処理を行い、
前記距離計算部は、式
【数35】

$$r = \frac{m_2 - (m, Rm') (Rm')_2}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_2 - (Rm')_2}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行

う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の
3次元情報復元装置。

【請求項24】前記運動条件 {R3, h1} が入力され
た場合、基本行列計算部は、
【数36】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23}-h_3 & r_{22} & h_2 & r_{22}-h_3 & r_{23} \\ h_3 & h_1 & r_{23} & & -h_1 & r_{22} & \\ -h_2 & & h_1 & r_{22} & & h_1 & r_{23} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31}-g_{23} & g_{22} & \end{bmatrix}$$

への展開式を
【数37】

$$\begin{bmatrix} \underline{G}_1 \\ \underline{G}_2 \\ \underline{G}_3 \\ \underline{G}_4 \\ \underline{G}_5 \\ \underline{G}_6 \\ \underline{G}_7 \\ \underline{G}_8 \\ \underline{G}_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \\ g_{32} \\ g_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} & & I_3 & & \\ & & & & \\ & & & I_2(+, -) & \\ 0_{34} & & & & \\ & & & & 0_{12} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} & & & & 0_{43} \\ & & & & \\ & & I_3 & & \\ & & & I_2(+, -) & \\ & & & & 0_{21} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数38】

の計算式として
【数39】

{m_i}

{m_i} _{i=1, ..., 9} = ^tA {M_i} _{i=1, ..., 9} を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \\ \\ +\underline{M}_7 \\ -\underline{M}_8 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部、及び回転計算部は、式

【数40】

$$h_2 = + - g_{31}, \quad h_3 = g_{21}$$

a) $h_2 = h_3 = 0$ でないとき

$$r_{22} = (-h_3 \quad g_{12} + h_2 \quad g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$r_{23} = (-h_2 \quad g_{12} - h_3 \quad g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$h_3 = \begin{cases} r_{22} \neq 0 \text{ のとき ; } g_{23} / r_{22} \\ r_{23} \neq 0 \text{ のとき ; } g_{22} / r_{23} \end{cases}$$

b) $h_2 = h_3 = 0$ のとき

$$h_1 = + - 1$$

$$(r_{22}, r_{23}) = (- + g_{23}, + - g_{22})$$

により3次元平行移動ベクトルh、及び3次元回転行列 前記回転計算部は、式
Rの計算処理を行い、 【数41】

$$\begin{aligned} r &= \frac{(h, m) - (m, Rm') (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2} \\ r' &= \frac{(m, Rm') (h, m) - (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2} \end{aligned}$$

に $R = R_3$ を代入して、カメラと対応点との距離 r 、
 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とし
た請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項25】前記運動条件 $\{R_3, h_2\}$ が入力され
た場合、基本行列計算部は、

【数42】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

への展開式を
【数43】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23} & h_2 & r_{22} \\ 0 & h_1 & r_{23} & -h_1 & r_{22} \\ -h_2 & h_1 & r_{22} & h_1 & r_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ 0 & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} - g_{23} & g_{22} & g_{22} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G}_1 \\ \underline{G}_2 \\ \underline{G}_3 \\ \underline{G}_4 \\ \underline{G}_5 \\ \underline{G}_6 \\ \underline{G}_7 \\ \underline{G}_8 \\ \underline{G}_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{23} \\ g_{32} \\ g_{11} \\ g_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} & & I_5 & & \\ & & \cdots & & \\ & & & I_2(+, -) & \\ 0_{43} & & & & \\ & & & & 0_2 \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} & & & 0_{34} & \\ & & I_5 & & \\ & & & \cdots & \\ & & & I_2(+, -) & \\ & & & & 0_2 \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数44】

の計算式として
【数45】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = {}^tA \{M_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \\ \\ +\underline{M}_6 \\ -\underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部、及び回転計算部は、式
【数46】

$$h_2 = -g_{31}$$

$$r_{22} = g_{13}/h_2, \quad r_{23} = -g_{12}/h_2$$

$$h_1 = \begin{cases} r_{22} \neq 0 \text{ のとき ; } -g_{23}/r_{22} \\ r_{23} \neq 0 \text{ のとき ; } g_{22}/r_{23} \end{cases}$$

により3次元平行移動ベクトルh、及び3次元回転行列Rの計算処理を行い、
前記距離計算部は、3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表し、式
【数47】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う【数48】
 う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の

$\{G_i\}$ の $\{g_i\}$

【請求項26】前記運動条件 $\{R3, h3\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を【数49】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23} - h_3 & r_{22} & h_2 & r_{22} - h_3 & r_{23} \\ h_3 & 0 & & & 0 & & \\ -h_2 & 0 & & & 0 & & \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & 0 & 0 \\ g_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{11} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_4 \\ \dots\dots\dots \\ 0_{54} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_4 & \vdots & 0_{45} \end{bmatrix}$$

として計算し、
 【数50】

$\{m_i\}$

の計算式として
 【数51】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,q}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、

前記平行移動計算部は、基本行列Gが求まると、 $h_2 = -g_{31}$ 、 $h_3 = g_{21}$ も同時に求まることを利用し、これにより3次元平行移動ベクトルhを求める計算処理を行

い、

前記回転計算部は、式

【数52】

$$r_{22} = (-h_3 g_{12} + h_2 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$r_{23} = (-h_2 g_{12} - h_3 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

により、3次元回転行列Rの計算処理を行い、

関する内積を $(\cdot, \cdot)_{23}$ で表し、式

前記距離計算部は、3次元ベクトルの第2、第3成分に

【数53】

$$r = \frac{(h, m)_{23} - (m, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm')_{23} - (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離r、r'の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【数54】

$\{\underline{G}_k\}$ の $\{\underline{g}_i\}$

【請求項27】前記運動条件 $\{R3, h5\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を

【数55】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 r_{23} & h_2 & r_{22} \\ 0 & h_1 r_{23} & -h_1 & r_{22} \\ -h_2 & h_1 r_{22} & & h_1 r_{23} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_2 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 \\ h_1 & 0 & 0 \\ 0 & -h_1 & 0 \\ 0 & h_1 & 0 \\ h_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{23} \\ r_{22} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -h_2 I_2(t, -) & & & \\ & h_1 I_2(t, -) & & \\ & & & 0_{31} \\ h_1 J_2 & & & \\ & & & -h_2 \\ & 0_{32} & & 0 \\ & & & 0 \end{bmatrix}$$

$${}^tA = \begin{bmatrix} -h_2 I_2(t, -) & h_1 I_2(t, -) & h_1 J_2 & 0_{23} \\ & & & \\ & 0_{13} & & -h_2 \ 0 \ 0 \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数56】

の計算式として
【数57】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_2 \underline{M}_1 + h_1 \underline{M}_3 + h_1 \underline{M}_6 \\ h_2 \underline{M}_2 - h_1 \underline{M}_4 + h_1 \underline{M}_5 \\ -h_2 \underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列Gの計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、既知の3次元平行移動ベクトル
hを使用し、
前記回転計算部は、式 $r_{22} = g_{32}$ 、 $r_{23} = g_{33}/h_1$ を

用いて3次元回転行列Rの計算処理を行い、
前記距離計算部は、3次元ベクトルの第1、第2成分に
関する内積を $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表し、式
【数58】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【数59】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【請求項28】前記運動条件 $\{R3, h6\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を
【数60】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{23} & -r_{22} \\ 0 & r_{22} & r_{23} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G_1} \\ \underline{G_2} \\ \underline{G_3} \\ \underline{G_4} \\ \underline{G_5} \\ \underline{G_6} \\ \underline{G_7} \\ \underline{G_8} \\ \underline{G_9} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{23} \\ g_{22} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{22} \\ r_{23} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -I_2(+, -) \\ \hline I_2 \\ \hline 0_{52} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \left[-I_2(+, -) \mid I_2 \mid 0_{26} \right]$$

として計算し、
【数61】

の計算式として
【数62】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, p} = {}^tA \{ \underline{M}_i \}_{i=1, \dots, p}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 & \underline{M}_3 \\ \underline{M}_2 & \underline{M}_4 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列 G の計算処理を行い、前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトル h を既知として処理し、前記回転計算部は、式 $r_{22} = g_{32}$ 、 $r_{23} = g_{33}$ を用いて

前記基本行列 G と同時に求まる3次元回転行列 $R = R3$ を用い、前記距離計算部は、式
【数63】

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') \cdot m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【請求項29】前記運動条件 $\{R3, h7\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

【数64】

$\{G_i\}$ の $\{g_i\}$

への展開式を

【数65】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -r_{23} & r_{22} \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{13} \\ g_{12} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{22} \\ r_{23} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_3(+,-) \\ \vdots \\ 0_{33} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_3(+,-) & \vdots & 0_{33} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数66】

$\{\underline{m}_i\}$

の計算式として
【数67】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, p} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, p}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ -\underline{M}_2 \\ -\underline{M}_3 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列 G の計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、3次元平行移動ベクトル h を既知として処理し、
前記回転計算部は、式 $r_{22} = g_{13}$ 、 $r_{23} = -g_{12}$ を用い

て前記基本行列 G と同時に求まる3次元回転行列 $R = R3$ を用い、

前記距離計算部は、式

【数68】

$$r = \frac{m_2 - (m, Rm') (r_{22}m_2' + r_{23}m_3')}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_2 - (r_{22}m_2' + r_{23}m_3')}{1 - (m, Rm')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【数69】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【請求項30】前記運動条件 $\{R4, h1\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を

【数70】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_3 & h_2 \\ h_3 & 0 & -h_1 \\ -h_2 & h_1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ -g_{12} & 0 & g_{23} \\ -g_{13} & -g_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{32} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{12} \\ g_{11} \\ g_{22} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_3 \\ \hline -I_3 \\ \hline 0_3 \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_3 & -I_3 & 0_3 \end{bmatrix}$$

として計算し、

【数71】

$\{\underline{m}_i\}$

の計算式として

【数72】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, p} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, s}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 - \underline{M}_4 \\ \underline{M}_2 - \underline{M}_5 \\ \underline{M}_3 - \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列 G の計算処理を行い、前記平行移動計算部は、式 $h_1 = -g_{23}$ 、 $h_2 = g_{13}$ 、 $h_3 = -g_{12}$ を使用して3次元平行移動ベクトル h を求

める計算処理を行い、前記回転計算部は、3次元回転行列 R を既知として処理し、

前記距離計算部は、 $R=1$ として、式

【数73】

$$r = \frac{(h, m) - (m, m') (h, m')}{1 - (m, m')^2}$$

$$r' = \frac{(m, m') (h, m) - (h, m')}{1 - (m, m')^2}$$

によりカメラと対応点との距離 r 、 r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【数74】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【請求項31】前記運動条件 $\{R4, h2\}$ が入力された場合、基本行列計算部は、

への展開式を

【数75】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & h_2 \\ 0 & 0 & -h_1 \\ -h_2 & h_1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & g_{13} \\ 0 & 0 & g_{23} \\ -g_{13} & -g_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{32} \\ g_{13} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_2 & & \\ & -I_2 & \\ & & 0_{52} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_2 & -I_2 & 0_{25} \end{bmatrix}$$

として計算し、
【数76】

の計算式として
【数77】

$\{m_i\}$

$\{m_i\}_{i=1, \dots, p} = A \{M_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算し、

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 - M_3 \\ M_2 - M_4 \end{bmatrix}$$

とすることで基本行列 G の計算処理を行い、
前記平行移動計算部は、式 $h_1 = -g_{23}$ 、 $h_2 = g_{13}$ を

使用して3次元平行移動ベクトル h を求める計算処理を行い、

前記回転計算部は、3次元回転行列Rを既知として処理し、
前記距離計算部は、3次元ベクトルの第1、第2成分に

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, m')_{12}}{1 - (m, m')^2}$$

$$r' = \frac{(m, m')_{12} - (h, m')_{12}}{1 - (m, m')^2}$$

関する内積を $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表し、式【数78】

によりカメラと対応点との距離 r, r' の計算処理を行う機能を備えていることを特徴とした請求項14記載の3次元情報復元装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、作業用ロボット、FA装置、監視装置などの自動制御装置、或いはCGデータ作成装置等に利用可能であり、2次元複数画像からの3次元形状、及び複数画像間のTVカメラの運動の復元等が可能な3次元情報復元装置に関する。また、本願発明の3次元情報復元装置は、前記のように、画像を入力とする自動制御装置に使用されるが、文書画像における3次元画像の取得にも有用である。

【0002】3次元情報の復元には、複数画像上の対応点の位置情報を用いているが、安定に抽出できる画像上の対応点が一般に少ないため、少ない対応点で3次元情報の復元ができることが望まれている。このため、少ない対応点で2次元情報から3次元情報を復元可能な3次元情報復元装置の開発が要望されていた。

【0003】

【従来の技術】以下、従来例について説明する。

§1：従来の3次元復元アルゴリズムの説明

従来、2次元複数画像情報から3次元形状及び運動の復元を行う3次元情報復元装置が知られていた。この3次元情報復元装置では、例えば、TVカメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力し、その2画像間の8個の対応点

$$(m_a, Gm'_a) = 0 \quad (a=1, 2, 3, \dots, 8) \dots \text{式2-1}$$

②： $G = (g_1, g_2, g_3)$ とおき、次の式により h を求める。

$$h = \pm N[g_2 \times g_3] = \pm N[g_2 \times g_1] = \pm N[g_1 \times g_2] \dots \text{式2-2}$$

③： $R = (r_1, r_2, r_3)$ を次の式により求める。

$$r_1 = g_1 \times h + g_2 \times g_3$$

$$r_2 = g_2 \times h + g_3 \times g_1$$

$$r = \{ (h, m) - (m, Rm') (h, Rm') \} / \{ 1 - (m, Rm')^2 \}$$

$$r' = \{ (m, Rm') (h, m) - (m, Rm') \} / \{ 1 - (m, Rm')^2 \} \dots \text{式2-4}$$

情報により、3次元情報を復元していた。以下、前記3次元復元のアルゴリズムの要点を説明する。なお、詳細には解説書である「金谷健一著、“画像理解—3次元認識の数理”、pp. 98~pp. 102、森北出版株式会社、1990」を参照されたい。

【0004】前記3次元復元のアルゴリズムの要点は次の通りである。今、TVカメラの運動パラメータ（運動条件）を $\{R, h\}$ とする。この場合、 R は3次元回転行列で、 h は3次元平行移動ベクトル（平行移動成分）である。TV画像における特徴点を N ベクトルで表す、 N ベクトル m 、距離 r の点が N ベクトル m' 、距離 r' の点に移動したとすると、次の方程式が成立する（単位ベクトルに正規化した座標の組を N ベクトルと呼ぶ）。

$$rm = r' Rm' + h$$

$$(m, Gm') = 0$$

$$G = h \times R$$

前記式において、 G を基本行列と呼ぶ。定数倍だけの自由度がある h を $|h|=1$ と正規化すると、次の式と等価である。

$$|G| = \sqrt{2}$$

$\{R, h\}$ と r, r' を次の①~④の手順で求める。

①：8個の対応点を m_a, m'_a ($a=1, 2, 3, \dots, 8$)とする。 G の要素に関する次の8連立方程式から G を求める。

【0007】

$$r_3 = g_3 \times h + g_1 \times g_2 \dots \text{式2-3}$$

④：距離 r, r' を次の式により求める。

【0009】

§2：従来例の3次元情報復元装置の説明・・・図6参照

図6は従来例の3次元情報復元装置の構成図である。図示のように従来例の3次元情報復元装置は、画像入力部1、対応点検出部2、基本行列計算部3、平行移動計算部4、回転計算部5、距離計算部6等で構成されている。

【0010】前記構成の3次元情報復元装置において、画像入力部1は、TVカメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力し、対応点検出部2は、画像上の8組の対応点を検出する。この場合対応点の検出は、画像処理手段により自動抽出することでも可能であり、また、オペレータが画像上の位置を指示することでも可能である。そして検出した対応点は、Nベクトルに変換する。

【0011】次に、基本行列計算部3は、TVカメラの運動パラメータ（運動条件）から合成される基本行列Gを計算する。基本行列Gは、前記で示した8個の連立方程式（式2-2）から比を求めた後に、制約式 $|G| = \sqrt{2}$ により各成分値を確定する。

【0012】そして、平行移動計算部4は、前記式2-2のいずれかの等式により、3次元平行移動ベクトルhを計算する。回転計算部5は、前記式2-3により3次元回転行列Rを計算する。距離計算部6は、前記式2-4により対応点毎にTVカメラと対応点との距離r、r'を計算する。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】前記のような従来のものにおいては、次のような課題があった。すなわち、8個の対応点を安定に抽出できる画像は少なく、前記従来装置における3次元情報復元処理が適用できる画像が限られてしまっていた。

【0014】本発明は、このような従来の課題を解決し、8個より少ない対応点により、3次元情報の復元ができるようにして、適用可能な画像の範囲を拡大することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理説明図である。本願発明は、カメラの運動は完全に自由ではなく、運動条件の制約があることが通常であることに着目し、運動条件を利用して8個未満の対応点で3次元復元できるようにしたものであり、次のように構成した。

【0016】(1)：カメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力する画像入力部1と、前記2画像間の対応点を検出する対応点検出部2と、前記2画像間のカメラの3次元回転行列R、及び3次元平行移動ベクトルhから式 $G = R \times h$ で定義される基本行列Gを計算する基本行列計算部3と、3次元平行移動ベクトルhを計算する平行移動計算部4、及び3次元回転行列Rを計算する回転計算部5からなる平行移動・回転計算部27と、3次元空間におけるカメラと対応点との距離r、r'を計算する距離計算部6を備え、入力した2次元画像情報から3次元情報を復元する3次元情報復元装置において、カメラの運動条件を入力する運動条件設定部10を備え、前記対応点検出部2は、前記運動条件設定部10が入力した運動条件の元で、基本行列Gの9個の要素

【0017】
【数79】
 $\{G_i\}$
【0018】を線型展開する最小p個の元
【0019】
【数80】
 $\{g_i\}$
【0020】を定めて、p-1個の対応点の2画像上の2次元位置を検出し、前記基本行列計算部3は、前記最小p個の元
【0021】
【数81】
 $\{g_i\}$
【0022】に関する連立方程式により
【0023】
【数82】
 $\{g_i\}$
【0024】を計算し、基本行列Gを求める計算処理を行う機能を備えている。

【0017】

【数79】

$\{G_i\}$

【0018】を線型展開する最小p個の元

【0019】

【数80】

$\{g_i\}$

【0020】を定めて、p-1個の対応点の2画像上の2次元位置を検出し、前記基本行列計算部3は、前記最小p個の元

【0021】

【数81】

$\{g_i\}$

【0022】に関する連立方程式により

【0023】

【数82】

$\{g_i\}$

【0024】を計算し、基本行列Gを求める計算処理を行う機能を備えている。

(2)：前記(1)の3次元情報復元装置において、運動条件設定部10は、カメラの運動条件として、前記3次元回転行列Rの制約条件、及び3次元平行移動ベクトルhの制約条件を入力する運動条件入力部15と、運動条件入力部15が入力した3次元回転行列Rの制約条件、及び3次元平行移動ベクトルhの制約条件から、前記Rとhの制約条件としての運動条件を簡約化する運動条件簡約部16を備えている。

【0025】(3)：前記(2)の3次元情報復元装置において、運動条件入力部15は、前記3次元回転行列Rの制約条件を、特定座標軸の回りの回転の合成、又は既知として、

・X軸回転×Y軸回転×Z軸回転

・X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内、異なる2つの合成

・X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内の1つ

・前記の形式の既知回転

・回転なし

の21通りのいずれかを入力すると共に、前記3次元平行移動ベクトルhの制約条件を、特定座標軸に関する移動の合成、又は既知として、

・3次元空間移動

- ・座標平面上の移動
- ・前記の形式の既知移動
- ・座標軸上の既知移動

の11通りのいずれかを入力する機能を備えている。

【0026】(4)：前記(3)の3次元情報復元装置において、運動条件簡約部16は、3次元回転行列Rの制約条件を、

- ・X軸回転×Y軸回転×Z軸回転
- ・X軸回転×Y軸回転
- ・X軸回転
- ・前記の形式の既知回転
- ・回転なし

の7通りのいずれかに変換するための座標軸交換処理を行うR制約条件簡約部17を備えている。

【0027】(5)：前記(4)の3次元情報復元装置において、運動条件簡約部16は、X軸回転×Y軸回転×Z軸回転の未知回転、既知回転、回転無し各Rの制約条件に対して、X、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動各hの制約条件に変換すると共に、X軸回転の未知回転、既知回転各Rの制約条件に対して、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動、YZ平面上の未知移動、既知移動、Y軸上の既知移動各hの制約条件に変換するh制約条件簡約部18を備えている。

【0028】(6)：前記(5)の3次元情報復元装置において、h制約条件簡約部18は、前記3次元平行移動ベクトルhの制約条件に変換してから、座標軸の向きの交換処理により、座標軸上の既知移動であるhの制約条件を座標軸上の正方向1の移動条件にする機能を備えている。

【0029】(7)：前記(5)の3次元情報復元装置において、運動条件簡約部16は、運動条件{R, h}に対し、U、Vを既知の3次元回転行列とした場合、座標交換により運動条件{URV, Uh}に変換する座標交換部19を備えている。

【0030】(8)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、単位行列をIとした場合、3次元回転行列Rが既知ならば、運動条件{R, h}を運動条件{I, h}に変換する機能を備えている。

【0031】(9)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、3次元平行移動ベクトルhが既知ならば、Wh=X軸単位ベクトルとなる3次元回転行列Wを用いて、運動条件{R, h}を運動条件{Wh, X軸単位ベクトル}に変換する機能を備えている。

【0032】(10)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、3次元回転行列RがX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知の3次元空間移動の場合は、UhがXY平面上移動になるX

軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えている。

【0033】(11)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、3次元回転行列RがX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面上移動の場合は、UhがZ軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えている。

【0034】(12)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知の3次元空間移動の場合は、UhがXY平面上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えている。

【0035】(13)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面上移動の場合は、UhがY軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する機能を備えている。

【0036】(14)：前記(7)の3次元情報復元装置において、座標交換部19は、座標軸交換処理を行い、制約無し、若しくは既知の場合を除き、3次元回転行列R及び3次元平行移動ベクトルhのそれぞれに対し、
R1：X軸回転×Y軸回転×Z軸回転、R2：X軸回転×Y軸回転、R3：X軸回転、R4：回転無し、h1：3次元空間移動、h2：XY平面移動、h3：YZ平面移動、h4：ZX平面移動、h5：XY平面移動（既知）、h6：X軸移動（既知）、h7：Y軸移動（既知）とし、前記3次元回転行列Rと3次元平行移動ベクトルhからなる運動条件を{R, h}とした場合、
{R, h} = {R1, h2}, {R1, h6}, {R2, h1}, {R2, h2}, {R2, h3}, {R2, h4}, {R2, h5}, {R2, h6}, {R2, h7}, {R3, h1}, {R3, h2}, {R3, h3}, {R3, h5}, {R3, h6}, {R3, h7}, {R4, h1}, {R4, h2}の17個の運動条件のいずれかに変換する機能を備えている。

【0037】(作用) 前記構成に基づく本発明の作用を、図1に基づいて説明する。

(a)：前記(1)の作用

画像入力部1はカメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力し、対応点検出部2は前記2画像間の対応点を検出する処理を行う。次に基本行列計算部3は、前記2画像間のカメラの3次元回転行列R、及び3次元平行移動ベクトルhから式 $G=R \times h$ で定義される基本行列Gを計算する。

【0038】その後、平行移動・回転計算部27では、平行移動計算部4が3次元平行移動ベクトルhを計算し、回転計算部5が3次元回転行列Rを計算する。更

に、距離計算部6では、3次元空間におけるカメラと対応点との距離 r 、 r' を計算する。

【0039】この場合、運動条件設定部10では、カメラの運動条件を入力し前記各部へ出力する。そして、対応点検出部2では、前記入力された運動条件の元で、基本行列 G の9個の要素

【0040】

【数83】

$$\{G_i\}$$

【0041】を線型展開する最小 p 個の元

【0042】

【数84】

$$\{g_i\}$$

【0043】を定めて、 $p-1$ 個の対応点の2画像上の2次元位置を検出し、基本行列計算部3では、前記最小 p 個の元

【0044】

【数85】

$$\{g_i\}$$

【0045】に関する連立方程式により

【0046】

【数86】

$$\{g_i\}$$

【0047】を計算し、基本行列 G を求める計算処理を行う。

(b)：前記(2)の作用

前記運動条件設定部10では、運動条件入力部15により、カメラの運動条件として、前記3次元回転行列 R の制約条件、及び3次元平行移動ベクトル h の制約条件を入力する。そして、運動条件簡約部16は、前記運動条件入力部15が入力した3次元回転行列 R の制約条件、及び3次元平行移動ベクトル h の制約条件から、前記 R と h の制約条件としての運動条件を簡約化する。

【0048】(c)：前記(3)の作用

前記運動条件入力部15は、前記3次元回転行列 R の制約条件を、特定座標軸の回りの回転の合成、又は既知として、

- ・ X軸回転×Y軸回転×Z軸回転
- ・ X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内、異なる2つの合成
- ・ X軸回転、Y軸回転、Z軸回転の内の1つ
- ・ 前記の形式の既知回転
- ・ 回転なし

の2通りの中のいずれかを入力すると共に、前記3次元平行移動ベクトル h の制約条件を、特定座標軸に関する移動の合成、又は既知として、

- ・ 3次元空間移動
- ・ 座標平面上の移動
- ・ 前記の形式の既知移動
- ・ 座標軸上の既知移動

の1通りの中のいずれかを入力する。

【0049】(d)：前記(4)の作用

前記運動条件簡約部16では、 R 制約条件簡約部17により、3次元回転行列 R の制約条件を、

- ・ X軸回転×Y軸回転×Z軸回転
- ・ X軸回転×Y軸回転
- ・ X軸回転
- ・ 前記の形式の既知回転
- ・ 回転なし

の7通りのいずれかに変換するための座標軸交換処理を行う。

【0050】(e)：前記(5)の作用

前記運動条件簡約部16では、 h 制約条件簡約部18により、X軸回転×Y軸回転×Z軸回転の未知回転、既知回転、回転無しの各 R の制約条件に対して、X、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動の各 h の制約条件に変換すると共に、X軸回転の未知回転、既知回転の各 R の制約条件に対して、Y、Z軸の各座標軸交換を行い、3次元空間の未知移動、既知移動、XY平面上の未知移動、既知移動、X軸上の既知移動、YZ平面上の未知移動、既知移動、Y軸上の既知移動の各 h の制約条件に変換する。

【0051】(f)：前記(6)の作用

前記 h 制約条件簡約部18は、前記3次元平行移動ベクトル h の制約条件に変換してから、座標軸の向きの交換処理により、座標軸上の既知移動である h の制約条件を座標軸上の正方向1の移動条件にする。

【0052】(g)：前記(7)の作用

前記運動条件簡約部16では、座標変換部19により、運動条件 $\{R, h\}$ に対し、 U, V を既知の3次元回転行列とした場合、座標変換により運動条件 $\{URV, Uh\}$ に変換する。

【0053】(h)：前記(8)の作用

前記座標変換部19は、3次元回転行列 R が既知ならば、単位行列を I とした場合、運動条件 $\{R, h\}$ を運動条件 $\{I, h\}$ に変換する。

【0054】(i)：前記(9)の作用

前記座標変換部19は、3次元平行移動ベクトル h が既知ならば、 $Wh = X$ 軸単位ベクトルとなる3次元回転行列 W を用いて、運動条件 $\{R, h\}$ を運動条件 $\{Wh, X$ 軸単位ベクトル $\}$ に変換する。

【0055】(j)：前記(10)の作用

前記座標変換部19は、3次元回転行列 R がX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトル h が既知の3次元空間移動の場合は、 Uh がXY平面上移動になるX軸

回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する。

【0056】(k)：前記(11)の作用

前記座標変換部19は、3次元回転行列RがX軸回転×Y軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面上移動の場合は、UhがZ軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する。

【0057】(l)：前記(12)の作用

前記座標変換部19は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知の3次元空間移動の場合は、UhがXY平面上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する。

【0058】(m)：前記(13)の作用

前記座標変換部19は、3次元回転行列RがX軸回転、かつ3次元平行移動ベクトルhが既知のYZ平面上移動の場合は、UhがY軸上移動になるX軸回転Uを選択し、運動条件{R, h}を運動条件{UR, Uh}に変換する。

【0059】(n)：前記(14)の作用

前記座標変換部19は、座標軸交換処理を行い、制約無し、若しくは既知の場合を除き、3次元回転行列R及び3次元平行移動ベクトルhのそれぞれに対し、R1：X軸回転×Y軸回転×Z軸回転、R2：X軸回転×Y軸回転、R3：X軸回転、R4：回転無し、h1：3次元空間移動、h2：XY平面移動、h3：YZ平面移動、h4：ZX平面移動、h5：XY平面移動（既知）、h6：X軸移動（既知）、h7：Y軸移動（既知）とし、前記3次元回転行列Rと3次元平行移動ベクトルhからなる運動条件を{R, h}とした場合、{R, h} = {R1, h2}, {R1, h6}, {R2, h1}, {R2, h2}, {R2, h3}, {R2, h4}, {R2, h5}, {R2, h6}, {R2, h7}, {R3, h1}, {R3, h2}, {R3, h3}, {R3, h5}, {R3, h6}, {R3, h7}, {R4, h1}, {R4, h2}の17個の運動条件の

$$\sum_{k=1}^8 \underline{M}_k \underline{G}_k = 0$$

【0070】一般の場合では、

【0071】

【数91】

$$\underline{G}_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0072】は線型独立であるため、対応点8個が必要である。しかし、運動条件がある場合は、

【0073】

【数92】

いずれかに変換する。

【0060】(o)：以上のようにして、8個より少ない対応点により、3次元情報の復元が可能になる。その結果、適用可能な画像の範囲を拡大することができる。

【0061】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて詳細に説明する。

S1：基本的な処理の説明

本実施の形態は、TVカメラの運動は完全に自由ではなく、運動条件の制約があることが通常であることに着目し、運動条件を利用して8個未満の対応点で3次元復元できるようにしたものである。

【0062】運動条件を用いて基本行列Gを計算する一般原理は次の通りである。前記式2-1を用いて、 $G = (g_{ij})$ 、 $m_{ij} = m_{ai} m_{aj}$ ($i, j = 1, 2, 3$)と記号を定めると、次の式3-0を得る (m_{ai} ：ベクトルのi番目の要素)。

【0063】

【数87】

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 m_{ij} g_{ij} = 0 \quad \dots \dots \text{式3-0}$$

【0064】基本行列Gの要素 g_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$)を

【0065】

【数88】

$$\underline{G}_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0066】とし、係数 m_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$)を

【0067】

【数89】

$$\underline{M}_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0068】と表すと次の式になる。

【0069】

【数90】

$$\dots \dots \text{式3-1}$$

$$\underline{G}_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0074】は線型従属であることが多い。この時、

【0075】

【数93】

$$\underline{G}_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0076】を次の式3-2のように9個よりも少ない線型独立な

【0077】

【数94】

$$\underline{g}_i \quad (i=1, \dots, p; \quad p < 9)$$

【0078】に線型展開できる。

【0079】

【数95】

$$\underline{G}_k = \sum_{i=1}^p a_{ki} \underline{g}_i \quad (a_{ki}: \text{定数}) \quad \dots \dots \text{式3-2}$$

【0080】

2を式3-1に代入して次の式を得る。

【数96】

【0082】

【数97】

【0081】の内、1つは定数であり得る。前記式3-

$$\sum_{i=1}^p \underline{m}_i \underline{g}_i = 0 \quad \dots \dots \text{式3-3}$$

$$(\text{ただし, } \underline{m}_i \sum_{k=1}^9 \underline{M}_k a_{ki} \quad (i=1, \dots, p))$$

【0083】前記式3-3において、

【0084】

【数98】

$$\underline{m}_i$$

【0085】は定数だから、9個の未知変数を持つ線型方程式である前記式3-1は、 p 又は $p-1$ 個の未知変数を持つ線型方程式である前記式3-3に帰着できる。定数項を含む場合は、 $p-1$ 個の連立方程式を解いた後に、 $|G| = \sqrt{2}$ と正規化する。従って、必要な対応点数は $p-1$ 個に減ずることになる。

【0086】前記処理①（従来例参照）は次のようになる。

【0087】

【数99】

$$\underline{m}_i \quad (i=1, \dots, p)$$

【0088】を計算して $p-1$ 個の線型連立方程式（前記式3-3）を立てて、

【0089】

【数100】

$$\underline{g}_i$$

【0090】を解く。式

【0091】

【数101】

$$\underline{G}_k$$

【0092】を式3-2により求める。

【0093】

【数102】

$$\underline{g}_i$$

【0094】は R の要素である r_{ij} 、 h の要素である h_i の単純な式で表現されることが多いため、前記処理②、③、④（従来例参照）において、 h 、 R 、 r 、 r' も、より直接的な計算で計算できる。

【0095】§2：3次元情報復元装置の説明・・・図2参照

図2は実施の形態の装置構成図である。図3は各部の構成図（その1）であり、A図は運動条件設定部の全体構成図、B図は運動条件簡約部の構成図である。図4は各部の構成図（その2）であり、A図は対応点検出部の構成図、B図は基本行列計算部の構成図である。以下、図2～図4に基づいて実施の形態の装置構成について説明する。

【0096】図示のように3次元情報復元装置には、運動条件設定部10と、画像入力部1と、対応点検出部2と、基本行列計算部3と、平行移動計算部4及び回転計算部5からなる平行移動・回転計算部27と、距離計算部6と、データ格納部11等が設けてある。

【0097】そして、前記運動条件設定部10には、運動条件入力部15と、運動条件簡約部16が設けてあり、更に、前記運動条件簡約部16には、 R 制約条件簡約部17と、 h 制約条件簡約部18と、座標変換部19が設けてある。また、対応点検出部2には、対応点数判定部21と、対応点座標決定部22が設けてあり、基本行列計算部3には、基本行列要素展開部23と、展開変数計算部24と、基本行列要素計算部25が設けてある。

【0098】前記構成の3次元情報復元装置の動作は次の通りである。運動条件設定部10は運動条件を入力して設定する処理を行う。画像入力部1はTVカメラで3次元剛体を捉えた2画像を入力し、対応点検出部2は、運動条件設定部10で設定した運動条件に従い画像上の対応点を検出する。

【0099】基本行列計算部3は運動条件設定部10で設定した運動条件に従い、TVカメラの運動条件（運動パラメータ）から合成される基本行列 G を計算する。平行移動・回転計算部27では、運動条件設定部10で設定した運動条件に応じて、平行移動計算部4と回転計算

部5の処理の順番を決定し、3次元平行移動ベクトル h と3次元回転行列 R を計算する。そして、平行移動・回転計算部27の計算結果、及び距離計算部6の計算結果はデータ格納部11に格納する。

【0100】前記処理において、運動条件設定部10では、運動条件入力部15が運動条件の入力処理を行い、運動条件簡約部16が前記入力した運動条件の簡約化処理を行う。この場合、運動条件簡約部16では、 R 制約条件簡約部17が3次元回転行列 R の簡約化処理を行い、 h 制約条件簡約部18が3次元平行移動ベクトル h の簡約化処理を行い、座標交換部19が座標交換処理を行う。

【0101】対応点検出部2では、運動条件設定部10から対応点数判定部21に運動条件が送られ、対応点数判定部21は必要な対応点数 $p-1$ を求めて、対応点数を対応点座標決定部22へ送る。対応点座標決定部22は、画像入力部1で入力した画像データから前記 $p-1$ 個の対応点の画像上の2次元座標を求めて基本行列計算部3へ送る（なお、従来の装置では、対応点検出部2は対応点数を8個と固定であった）。

【0102】前記基本行列計算部3は、運動条件設定部10から送られた運動条件（設定された運動条件）に応じて基本行列計算処理を行うが、この場合、基本行列要素展開部23では、基本行列 G の要素

【0103】

【数103】

$$\{G_k\}$$

【0104】を最小の変数

【0105】

【数104】

$$G_k \quad (k=1, \dots, 9) \text{ と } g_i \quad (i=1, \dots, p)$$

【0116】を線型空間の要素と見なして、線型空間の理論を用いると、次の命題1、命題2を示せる。

命題1：前記式3-2を満たす

$$\{g_i\} \text{ の最小個数 } p \text{ は } G_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0118】の線型独立変数である。この時、

【0119】

$$g_i \quad (i=1, \dots, p) \text{ は } G_k \quad (k=1, \dots, 9)$$

【0120】の線型結合である（証明は省略する）。

命題2：前記式3-2において、9行 p 列の定数行列 A を、 $\{a_{ki}\} \quad (k=1, \dots, 9, i=1, \dots, p)$ と定義すると、

【0121】

【数112】

$$\{g_i\}$$

【0106】に前記式3-2のように展開する。展開変数計算部24は、対応点検出部2から送られた対応点座標を用いて線型方程式（式3-3）の係数

【0107】

【数105】

$$m_i \quad (i=1, \dots, p)$$

【0108】を計算して、 $p-1$ 個の線型連立方程式（式3-3）を解いて

【0109】

【数106】

$$\{g_i\}$$

【0110】を求める。基本行列要素計算部25は、基本行列 G の要素

【0111】

【数107】

$$\{G_k\}$$

【0112】を式3-2により求める。なお、具体的に制約条件が与えられた時、前記式3-2を満たす最小の

【0113】

【数108】

$$g_i \quad (i=1, \dots, p)$$

【0114】を求める一般的な方法は次の通りである。

【0115】

【数109】

【0117】

【数110】

【数111】

・座標平面上の移動

・前記の形式の既知移動

・座標軸上の既知移動

$G = h \times R$ の“座標系に従った運動条件”は、 R と h の制約条件の組み合わせ231通りから、制約無し1通りと、 R と h が共に既知である77通りを除いた153通りである。運動条件の内、座標軸を入れ換えて一致する条件は本質的に同等である。“座標系に従った運動条件”から、座標軸交換により一致する運動条件は1つに絞る。

【0143】“座標系に従った運動条件”は、 R と h の制約条件の組み合わせであるが、 R の制約条件の方が複雑である。 R の2つの制約条件 R_i と R_j が同等の時、 R_i と h の全ての制約条件の組み合わせと、 R_j と h の全ての制約条件の組み合わせは同等である。そこで、先ず、 R の制約条件において、座標軸交換により一致する制約条件を1つに絞る。結果である R の制約条件は次の7通りである。

【0144】・ X 軸座回転 $\times Y$ 軸座回転 $\times Z$ 軸座回転

・ X 軸回転 $\times Y$ 軸回転

・ X 軸回転

・前記の形式の既知回転

・回転なし

次に、前記の R の7個の制約条件と、 h の全ての制約条件

表2. 座標軸交換でも一致しない h の制約条件

交換する座標軸	座標軸交換でも一致しない h の制約条件
X, Y, Z	3次元空間の未知移動, 既知移動 XY 平面上の未知移動, 既知移動 X 軸上の既知移動
Y, Z	第1欄の5つの制約条件 YZ 平面上の未知移動, 既知移動 Y 軸上の既知移動

【0148】座標軸を交換しても異なる制約条件は、 R の制約条件とその座標系に関する対称性(表1参照)に吸収されない h の制約条件(表2参照)の組み合わせ53通りから、制約無し1通りと既知の18通りを除いた34通りである。前記34通りの制約条件の内、座標系を交換して一致する制約条件は同等であるから、1つに絞る。

【0149】先ず、座標軸の方向を逆にして一致する h の制約条件を1つに絞る。移動ベクトル h は、 $|h| = 1$ と制約されているため、1座標軸上の移動は ± 1 の移動である。この2つの h は座標軸の方向を逆にして一致するため、 $+1$ の移動のみに絞る。制約条件が座標系の交換により一致する場合を次の命題3に示す。

【0150】命題3: 制約条件 $\{R, h\}$ は、 U, V を既知の3次元回転行列とする時、座標交換により制約条

件の組み合わせを考察して、互いに同等な制約条件を1つにまとめる。 R の制約条件 R_i が、或る座標軸野交換で一致する対称性を持っている時、 h の制約条件 h_j 、 h_k がその座標軸の交換で一致するならば、制約条件 (R_i, R_j) と (R_i, h_k) はその座標軸の交換で一致するため同等である。 R の7個の制約条件の座標軸に関する対称性は次の表1の通りである。

【0145】

【表1】

表1. R の制約条件の座標軸に関する対称性

交換する座標軸	不変な R の制約条件
X, Y, Z	X 軸回転 $\times Y$ 軸回転 $\times Z$ 軸回転の 未知回転, 既知回転 回転なし
Y, Z	X 軸回転の未知回転, 既知回転

【0146】前記表1の座標軸の交換でも一致しない h の制約条件は次の表2の通りである。

【0147】

【表2】

件 $\{URV, Uh\}$ に一致する。特に R が既知ならば、制約条件 $\{R, h\}$ は制約条件 $\{I, h\}$ と同等である。 h が既知ならば、 $Wh = X$ 軸単位ベクトルとなる3次元回転行列 W を用いて、制約条件 $\{R, h\}$ は、制約条件 $\{WR, X$ 軸単位ベクトル $\}$ と同等である(証明は省略する)。

【0151】前記命題3を用いて、具体的な制約条件により、簡単かつ同等な制約条件を求める。 R が X 軸回転 $\times Y$ 軸回転 $\times Z$ 軸回転の場合は、 h が既知ならば h を X 軸単位ベクトルに簡略化できる。 R が X 軸回転 $\times Y$ 軸回転の場合は h が既知の3次元空間移動、 ZX 平面移動の場合は h が既知の YZ 平面上移動、 Z 軸上移動の場合は、 U を適当な X 軸回転にすると、 h を Y 軸上移動に簡略化できる。

【0152】RがX軸回転の場合は、hが既知の3次元空間移動の場合は、Uを適当なX軸回転にするとhをXY平面上移動に簡略化できる。hが既知のYZ平面上移動の場合は、Uを適当なX軸回転にすると、hをY軸上移動に簡略化できる。Rが既知の場合は、RをIに簡略化できる。更に必要ならば、座標軸を交換することにより、hの制約条件は、3次元空間移動若しくは、XY平

面上の未知移動にまとめることができる。

【0153】座標軸に従った運動条件153個は次の表3に示した17個の運動条件のいずれかと同等であることが明らかになった。

【0154】

【表3】

表3. 考察すべき運動条件

	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7
R1		○				○	
R2	○	○	○	○	○	○	○
R3	○	○	○		○	○	○
R4	○	○					

R1: X軸回転×Y軸回転×Z軸回転,

R2: X軸回転×Y軸回転, R3: X軸回転

R4: 回転なし

h1: 3次元空間移動, h2: XY平面移動,

h3: YZ平面移動, h4: ZX平面移動,

h5: XY平面移動(既知), h6: X軸移動(既知),

h7: Y軸移動(既知)

【0155】§4: 具体例による3次元復元処理の概要説明

以下、17個の運動条件毎の3次元復元について説明する。前記基本的な計算処理を適用して、基本行列Gの成分を線型展開する最小個数の元を求めると、次の表4の

ようになる。ただし、Gの ij 成分を g_{ij} 、Rの ij 成分を r_{ij} 、hの i 成分を h_i と表した。

【0156】

【表4】

表4. Gの成分を線型展開する最少個数の元と必要な対応点数

運動条件	Gの成分を線型展開する最少個数の元	必要な対応点数
R1, h2	Gの9個の元	8 (従来と同じ)
R1, h6	$g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{31}, g_{32}, g_{33}$	5
R2, h1	Gの9個の元	8 (従来と同じ)
R2, h2	Gの9個の元	8 (従来と同じ)
R2, h3	$g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{31}, g_{32}, g_{33}$	6
R2, h4	Gの9個の元	8 (従来と同じ)
R2, h5	$g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}, g_{23}$	5
R2, h6	$g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{31}, g_{32}, g_{33}$	5
R2, h7	$g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}$	4
R3, h1	$g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{31}$	5
R3, h2	$g_{12}, g_{13}, g_{22}, g_{23}, g_{31}$	4
R3, h3	$g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}$	3
R3, h5	$r_{22}, r_{23}, 1$ (定数)	2
R3, h6	r_{22}, r_{23}	1
R3, h7	$r_{22}, r_{23}, 1$ (定数)	2
R4, h1	h_1, h_2, h_3	2
R4, h2	h_1, h_2	1

【0157】一般の場合と運動条件{R1, h2}、{R2, h1}、{R2, h2}、{R2, h4}の場合は、Gの9個の成分は線型独立であるため、9個未満

の元で線型展開できず、3次元復元のためには8対応点が必要である。

【0158】前記表4に運動条件毎に3次元復元に必要

な対応点も示した。必要対応点数はGの成分を線型展開する最小個数の元から、1減じたものである。17の運動条件の内、3条件、{R1, h2}、{R2, h1}、{R2, h2}、{R2, h4}を除いた13条件で従来よりも少ない対応点で3次元復元できることが判明した。

【0159】前記のように、元の153通りの運動条件は、「座標軸に従った運動条件」であるが、簡単化によ

$$R1) R = \{X軸回転\} \times \{Y軸回転\} \times \{Z軸回転\}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & & \\ & C\phi & -S\phi \\ & S\phi & C\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta & & -S\theta \\ & 1 & \\ & & C\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\phi & -S\phi & \\ S\phi & C\phi & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta & C\phi & -C\theta & S\phi & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi+C\theta & S\phi & S\theta \\ C\phi & S\theta & C\phi+S\phi & S\phi-C\phi & S\theta \\ S\theta & S\phi+S\phi & C\phi & C\phi & C\theta \end{bmatrix}$$

【0162】(2) : 運動条件 {R1, h2} の場合
3次元平行移動ベクトル $h = h2$ は次の式で表される。

【0163】

【数122】

$$h2) h = \{XY平面移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0164】これは、TVカメラの動きの平行移動成分が既知の平面内に制約される場合である。既知平面上にXY座標軸をとれば、この場合に当てはまる。

(3) : 運動条件 {R1, h6} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h6$ は次の式で表される。

【0165】

【数123】

$$h6) h = \{X軸移動\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0166】これは、TVカメラの動きの平行移動成分

$$h1) h = \{3次元空間移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0170】これは、TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する既知の軸の回りの回転の合成である場合である。従って、2つの直交する軸を座標軸にとれば良い。この例としては、例えば、TVカメラのパンとチルトの合成の場合であり、垂直方向にX軸、水平方向にY軸をとれば良い(回転: X軸、Y軸の回りの回転の合

り最終的に17個の運動条件について処理すれば良いことが判明した。以下、前記各運動条件の意味について説明する。

【0160】(1) : 3次元回転行列 $R = R1$ の場合

3次元回転行列 $R = R1$ は次の式で表される。

【0161】

【数121】

が既知方向に制約される場合である。既知方向にX軸座標をとれば、この場合に当てはまる。

(4) : 3次元回転行列 $R = R2$ の場合

3次元回転行列 $R = R2$ は次の式で表される。

【0167】

【数124】

$$R2) R = \{X軸回転\} \times \{Y軸回転\}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & & \\ & C\phi & -S\phi \\ & S\phi & C\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta & & -S\theta \\ & 1 & \\ & & C\theta \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} C\theta & 0 & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi & -S\phi & C\theta \\ S\phi & S\theta & S\phi & C\phi & C\theta \end{bmatrix}$$

【0168】(5) : 運動条件 {R2, h1} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h1$ は次の式で表される。

【0169】

【数125】

成)。

【0171】(6) : 運動条件 {R2, h2} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h2$ は次の式で表される。

【0172】

【数126】

$$h2) h = \{XY平面移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0173】これは、TVカメラの動きの回転成分が、

2つの直交する軸の回りの回転の合成である場合であ

り、TVカメラの平行移動はその2軸で張る平面内に制約される。2つの直交する軸を座標軸にとれば良い。例えば、回転成分はパンとチルトの合成である。

【0174】平行移動は、縦と横方向で張る平面内に移動して、奥行き方向の変化がない場合である。この場合、垂直方向にX軸、水平方向にY軸をとれば良い。平

$$h3) h = \{YZ\text{平面移動}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0176】TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する軸の回りの回転の合成である場合であり、TVカメラの成功移動は2軸に直交する軸と2軸の内2番目の回転軸で張る平面内に制約される場合である。2つの直交する軸と2軸に直交する軸を座標軸にとれば良い。

【0177】例えば、TVカメラのパンとチルトの合成の場合であり、平行移動は水平平面内に移動する場合で

$$h4) h = \{ZX\text{平面移動}\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ 0 \\ h_3 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0180】TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する軸の回りの回転の合成であり、TVカメラの平行移動は2軸に直交する軸と、2軸の内1番目の回転軸で張る平面内に制約される場合である。平行移動は、奥行き方向を含めた垂直平面内に移動する場合である。垂直方向にX軸、水平方向にY軸、奥行き方向にZ軸をとれ

$$h5) h = \{XY\text{平面移動}\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, |h| = 1; \text{既知}$$

【0183】TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する軸の回りの回転の合成である場合であり、TVカメラの平行移動はその2軸で張る平面上で既知の場合である。2つの直交する軸を座標軸にとれば良い。例えば、回転成分はTVカメラのパンとチルトの合成であり、平行移動は縦と横方向で張る平面内で既知である。垂直方向にX軸、水平方向にY軸をとれば良い。平行移動はXY平面上で既知である（回転：X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動：XY平面上で既知）。

【0184】(10)：運動条件 {R2, h6} の場合
3次元平行移動ベクトル $h = h6$ は次の式で表される。

【0185】

【数130】

$$h6) h = \{X\text{軸移動}\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0186】TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する軸の回りの回転の合成である場合であり、TVカ

行移動はXY平面内で起こる。（回転：X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動：XY平面移動）

(7)：運動条件 {R2, h3} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h3$ は次の式で表される。

【0175】

【数127】

ある。垂直方向にX軸、水平方向にY軸、奥行き方向にZ軸をとれば良い。平行移動はYZ平面内である（回転：X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動：YZ平面移動）。

【0178】(8)：運動条件 {R2, h4} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h4$ は次の式で表される。

【0179】

【数128】

ば良い。平行移動はZX平面内である（回転：X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動：ZX平面移動）。

【0181】(9)：運動条件 {R2, h5} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h5$ は次の式で表される。

【0182】

【数129】

メラの平行移動はその第1回転軸上にある場合である。2つの直交する軸を座標軸にとれば良い。例えば、回転成分はTVカメラのパンとチルトの合成であり、平行移動は垂直方向である。垂直方向にX軸、水平方向にY軸をとれば良い。平行移動はX軸上である（回転：X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動：X軸上の移動）。

【0187】(11)：運動条件 {R2, h7} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h7$ は次の式で表される。

【0188】

【数131】

$$h7) h = \{Y\text{軸移動}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0189】TVカメラの動きの回転成分が、2つの直交する軸の回りの回転の合成である場合であり、TVカメラの平行移動はその第2回転軸上にある場合である。2つの直交する軸を座標軸にとれば良い。例えば、回転成分はTVカメラのパンとチルトの合成であり、平行移

動は水平横方向である。垂直方向にX軸、水平横方向にY軸をとれば良い。平行移動はY軸上である(回転:X軸、Y軸の回りの回転の合成、移動:Y軸上の移動)。

【0190】(12): 3次元回転行列 $R=R3$ の場合
3次元回転行列 $R=R3$ は次の式で表される。

【0191】

【数132】

$$R3) R = \{X軸回転\} = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & C\phi & -S\phi \\ & S\phi & C\phi \end{bmatrix}$$

$$h1) h = \{3次元空間移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}, \quad |h| = 1$$

【0194】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転の合成である場合であり、既知の軸をX軸にとれば良い。

(14): 運動条件 $\{R3, h2\}$ の場合

$$h2) h = \{XY平面移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |h| = 1$$

【0196】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転の合成である場合であり、平行移動がその軸を含む平面上に限られる場合である。回転軸をX軸にとり、Y軸を平面上にとれば良い。例えば、回転成分はパン、平行移動は縦横平面上を移動する場合である。垂直方向にX軸、水平横方向にY軸、奥行き方向に

【0192】(13): 運動条件 $\{R3, h1\}$ の場合
3次元平行移動ベクトル $h=h1$ は次の式で表される。

【0193】

【数133】

3次元平行移動ベクトル $h=h2$ は次の式で表される。

【0195】

【数134】

Z軸をとれば良い。平行移動はXY平面上である(回転:X軸の回りの回転、移動:XY軸上の移動)。

【0197】(15): 運動条件 $\{R3, h3\}$ の場合

3次元平行移動ベクトル $h=h3$ は次の式で表される。

【0198】

【数135】

$$h3) h = \{YZ平面移動\} = \begin{bmatrix} 0 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}, \quad |h| = 1$$

【0199】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転であり、平行移動が回転軸と直交する平面上に限られる場合である。回転軸をX軸にとり、Y軸とZ軸を平面上にとるように原点を設定すれば良い。例えば、回転成分はパン、平行移動は水平平面上を移動する場合である。垂直方向にX軸、水平横方向にY軸、奥行き方向にZ軸をとれば良い。平行移動はYZ平

面上である(回転:X軸の回りの回転、移動:YZ軸上の移動)。

【0200】(16): 運動条件 $\{R3, h5\}$ の場合

3次元平行移動ベクトル $h=h5$ は次の式で表される。

【0201】

【数136】

$$h5) h = \{XY平面移動\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |h| = 1; \text{既知}$$

【0202】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転であり、平行移動が回転軸を含む平面上の既知方向である場合である。回転軸をX軸にとり、平面上にY軸をとれば良い。

【0203】(17): 運動条件 $\{R3, h6\}$ の場合

3次元平行移動ベクトル $h=h6$ は次の式で表される。

【0204】

【数137】

$$h6) h = \{X軸移動\} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0205】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転であり、平行移動が回転軸方向である場合である。回転軸をX軸にとれば良い。

(18): 運動条件 {R3, h7} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h7$ は次の式で表される。

【0206】

【数138】

$$h7) h = \{Y\text{軸移動}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0207】TVカメラの動きの回転成分が、1つの既知の軸の回りの回転であり、平行移動が回転軸と直交する方向である場合である。回転軸をX軸に、直交する方

$$h1) h = \{3\text{次元空間移動}\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0212】TVカメラが回転せずに、平行移動する場合である。

(21): 運動条件 {R4, h2} の場合

$$h2) h = \{XY\text{平面移動}\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0214】TVカメラが回転せずに、既知平面上を平行移動する場合である。既知平面上にX軸とY軸をとれば良い。

§5: 具体例による3次元復元処理の詳細な説明

以下、17個の運動条件について、個別の3次元復元計算処理を説明する。具体的な項目は以下の1)~4)である。

【0215】1): 基本行列Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1. 1):

$$\{G_k\} = A \{g_i\} \quad (A: \text{定数行列}) \cdots \text{式6-1}$$

【0219】1. 2):

【0220】

【数144】

$$\{m_i\}$$

【0221】の計算式(展開変数計算部24による処理)

線型方程式(式3-3)の係数

【0222】

【数145】

$$\{m_i\} \quad (i=1, \dots, p)$$

【0223】を、次の具体式に $\{a_{ki}\}$ を代入して求め

向をY軸にとれば良い。

【0208】(19): 3次元回転行列 $R = R4$ の場合
3次元回転行列 $R = R4$ は次の式で表される。

【0209】

【数139】

$$R4) R = \{\text{回転なし}\} = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}; \text{既知}$$

【0210】(20): 運動条件 {R4, h1} の場合

3次元平行移動ベクトル $h = h1$ は次の式で表される。

【0211】

【数140】

3次元平行移動ベクトル $h = h2$ は次の式で表される。

【0213】

【数141】

$$h2) h = \{XY\text{平面移動}\} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ 0 \end{bmatrix}, |h| = 1$$

【0216】

【数142】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【0217】への展開式(基本行列要素展開部23の処理)

前記式3-2を行列の形で表現した式6-1を次に示す

【0218】

【数143】

る。

【0224】

【数146】

$$m_i = \sum_{k=1}^8 M_k a_{ki} \quad (i=1, \dots, p)$$

【0225】2): 3次元平行移動ベクトル h の計算式(平行移動計算部4による処理)

3): 3次元回転行列 R の計算式(回転計算部5による処理)

4): TVカメラと対応点との距離 r, r' の計算式(距離計算部6による処理)

5. 1: 運動条件 ($\{R1, h2\}$ の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

従来通り

2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

従来通り

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

従来通り

4) r、r'の計算式(距離計算部6による処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積 $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{12}$ 、 $(h, Rm') = (h, Rm')_{12}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0226】

【数147】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0227】5.2 運動条件{R1, h6}の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1.1)

【0228】

【数148】

【0229】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0230】

【数149】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ - (r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) \\ + (r_{21} \ r_{22} \ r_{23}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 \\ \vdots \\ 0_{33} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_6 & \vdots \\ \vdots & 0_{33} \end{bmatrix}$$

【0231】なお、前記Iは単位行列である。

1.2)

【0232】

【数150】

【0233】の計算式(展開変数計算部24による処理)

$\{m_i\}$

【0234】

【数151】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = {}^t A \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,q}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

【0235】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

基本行列Gが求まると3次元回転行列Rの第2、第3行も同時に求まる。Rの第1行は次式により、Rの第2、第3行を用いて求まる。

【0236】 $r_{1i} = (-1)^{1+i} |R_{1i}|$

R_{1i} は行列Rから第1行と第i行を除いた部分行列である。

4) r, r' の計算式(距離計算部6による処理)

【0237】

【数152】

$(h, m) = m_1, (h, Rm') m_1'$ であるから

下式のように計算を簡単化できる。

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0238】5. 3 運動条件 {R2, h1} の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

従来通り

2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

従来通り

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

従来通り

4) r, r' の計算式(距離計算部6による処理)

次の従来式である式2-4に $r_{12}=0$ を固定代入して簡略化する。

【0239】

【数153】

$$r = \frac{(h, m) - (m, Rm') (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m) - (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2} \quad \dots \text{式2-4}$$

【0240】5. 4 運動条件 {R2, h2} の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

従来通り

2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

従来通り

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

従来通り

4) r, r'の計算式(距離計算部6による処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積()₁₂

で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{12}$ 、 $(h, m') = (h, Rm')_{12}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0241】

【数154】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0242】5.5 運動条件 {R2, h3} の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1.1)

【0243】

【数155】

【0244】への展開式(基本行列計算部3による処理)

【0245】

【数156】

{G_i} の {g_i}

$$G = \begin{bmatrix} h_2 (r_{31} & r_{32} & r_{33}) - h_3 (r_{21} & r_{22} & r_{23}) \\ h_3 (r_{11} & 0 & r_{13}) - h_2 (r_{11} & 0 & r_{13}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & 0 & g_{23} \\ g_{31} & 0 & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{33} \\ g_{22} \\ g_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_7 & \\ & 0_{27} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_7 & 0_{72} \end{bmatrix}$$

【0246】1.2)

【0247】

【数157】

$\{\underline{m}_i\}$

理)

【0249】

【0248】の計算式(展開変数計算部24による処

【数158】

 $\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = {}^t A \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,p}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \\ \underline{m}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \\ \underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

【0250】2) hの計算式(平行移動計算部4による
処理)、及び3) Rの計算式(回転計算部5による処
理)

【0251】

【数159】

$$h_2 = + - (g_{31}^2 + g_{33}^2)^{1/2}$$

a) $h_2 \neq 0$ のとき

$$(r_{11}, 0, r_{13}) = - (g_{31}, 0, g_{33}) / h_2$$

$$h_3 = \begin{cases} r_{11} \neq 0 \text{ のとき} : g_{21} / r_{11} \\ r_{13} \neq 0 \text{ のとき} : g_{23} / r_{13} \end{cases}$$

$$R = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi \\ S\theta & C\phi & S\phi \end{bmatrix} \text{ を求めるため、} \begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} \text{ を決定する。}$$

a.1) $r_{11} \neq 0$ のとき

$$\begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{h_2^2 + h_3^2} \begin{bmatrix} h_2 g_{13} / r_{11} - h_3 g_{12} \\ h_3 g_{13} / r_{11} + h_2 g_{12} \end{bmatrix}$$

a.2) $r_{11} = 0$ のとき

$$\begin{bmatrix} C\phi \\ S\phi \end{bmatrix} = \frac{1}{h_2^2 + h_3^2} \begin{bmatrix} -h_2 g_{11} / r_{13} - h_3 g_{12} \\ -h_3 g_{11} / r_{13} + h_2 g_{12} \end{bmatrix}$$

b) $h_2 = 0$ のとき $h_3 = + - 1$ である。

$$(r_{11}, 0, r_{13}) = (g_{21}, 0, g_{23}) / h_3$$

$$(r_{21}, r_{22}, r_{23}) = - (g_{11}, g_{12}, g_{13}) / h_3$$

$$r_{3i} = (-1)^{i+1} |R_{3i}| \quad (i=1, 2, 3)$$

【0252】3) Rの計算式(回転計算部5による処
理)
従来通り

4) r, r' の計算式(距離計算部6による処理)
3次元ベクトルの第2、第3成分に関する内積 $(\cdot)_{23}$
で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{23}, (h, Rm')$

$= (h, Rm')_{23}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0253】
【数160】

$$r = \frac{(h, m)_{23} - (m, Rm') (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{23} - (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0254】5. 6 運動条件 $\{R2, h4\}$ の場合
1) 基本行列Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

従来通り

2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

従来通り

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

従来通り

4) r, r' の計算式(距離計算部6による処理)
3次元ベクトルの第1、第3成分に関する内積を、 $(,)_{13}$ で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{13}$ 、 $(h, Rm') = (h, Rm')_{13}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0255】

【数161】

$$r = \frac{(h, m)_{13} - (m, Rm') (h, Rm')_{13}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{13} - (h, Rm')_{13}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0256】5. 7 運動条件 $\{R2, h5\}$ の場合

1) 基本行列Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0257】

【数162】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【0258】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0259】

【数163】

$$G = \begin{bmatrix} h_2 (r_{31} & r_{32} & r_{33}) & -h_1 (r_{31} & r_{32} & r_{33}) \\ h_1 (r_{21} & r_{22} & r_{23}) & -h_2 (r_{11} & 0 & r_{13}) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} & (g_{11} & g_{12} & g_{13}) \\ (-h_1/h_2) & (g_{11} & g_{12} & g_{13}) \\ & (g_{31} & g_{32} & g_{33}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_1/h_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 & \\ -h_1/h_2 I_3 & 0_3 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_6 & -h_1/h_2 I_3 \\ & 0_3 \end{bmatrix}$$

【0260】1. 2)

【0261】

【数164】

 $\{\underline{m}_i\}$

【0262】の計算式(展開変数計算部24による処理)

【0263】

【数165】

 $\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = A \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 & -h_1/h_2 & \underline{M}_7 \\ \underline{M}_2 & -h_1/h_2 & \underline{M}_8 \\ \underline{M}_3 & -h_1/h_2 & \underline{M}_9 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

【0264】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

【0265】

【数166】

$$(r_{31} \ r_{32} \ r_{33}) = (g_{11} \ g_{12} \ g_{13}) / h_2$$

$$r_{22} = g_{22} / h_1$$

$$R = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & -S\theta \\ -S\theta & S\phi & C\phi & -C\theta & S\phi \\ S\theta & C\phi & S\phi & C\theta & C\phi \end{bmatrix} \text{ において}$$

$$(C\phi, S\phi) = (r_{22}, r_{32})$$

$(C\theta, S\theta)$ を求めれば R が求まる。

a) $r_{22} = 0$ のとき

$$(C\theta, S\theta) = (r_{33}, r_{31}) / r_{22}$$

b) $r_{22} = 0$ のとき

$$(C\theta, S\theta) = (h_2 g_{31} + h_1 S\phi g_{33}, h_1 S\phi g_{31} - h_2 g_{33})$$

【0266】4) r, r' の計算式 (距離計算部6による処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を $(,)$ $_{12}$ で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{12}, (h, R$

$m') = (h, Rm')_{12}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0267】

【数167】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0268】5. 8 運動条件 $\{R2, h6\}$ の場合

1) G の計算式 (基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0269】

【数168】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

【0270】への展開式 (基本行列要素展開部23による処理)

【0271】

【数169】

$$G = \begin{bmatrix} (0 & 0 & 0) \\ - (r_{31} & r_{32} & r_{33}) \\ + (r_{21} & r_{22} & r_{23}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G_1} \\ \underline{G_2} \\ \underline{G_3} \\ \underline{G_4} \\ \underline{G_5} \\ \underline{G_6} \\ \underline{G_7} \\ \underline{G_8} \\ \underline{G_9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_6 \\ \hline 0_{33} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_6 & \vdots & 0_{33} \end{bmatrix}$$

【0272】1. 2)

【0273】

【数170】

 $\{\underline{m}_i\}$

【0274】の計算式(展開変数計算部24による処理)

【0275】

【数171】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 6} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 6}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \\ \underline{M}_6 \end{bmatrix}$$

【0276】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

基本行列Gが求まると、3次元回転行列Rの第2、第3行も同時に求まる。Rの第1行は次式により、Rの第2行、第3行を用いて求まる。

【0277】 $r_{1i} = (-1)^{1+i} |R_{1i}|$

なお、 R_{1i} は行列Rから第1行と第i行を除いた部分行列である。

4) r、r'の計算式(距離計算部による処理)

【0278】

【数172】

$(h, m) = m_1, (h, Rm') = m_1'$ であるから

下式のように計算を簡単化できる。

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0279】5. 9 運動条件 {R2, h7} の場合

1) Gの計算式 (基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0280】

【数173】

【0281】への展開式 (基本行列要素展開部23による処理)

【0282】

【数174】

$\{G_i\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} (r_{31} & r_{32} & r_{33}) \\ (0 & 0 & 0) \\ (r_{11} & 0 & r_{13}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ g_{31} & 0 & g_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{33} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{33} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_5 \\ \hline 0_{45} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_5 & \vdots \\ 0_{54} \end{bmatrix}$$

【0283】1. 2)

【0284】

【数175】

$\{m_i\}$

【0285】の計算式 (展開変数計算部24による処理)

【0286】

【数176】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,5} = {}^t A \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,5}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \end{bmatrix}$$

【0287】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

Gが求まると、Rの第1行、第3行も同時に求まる。Rの第2行は次式により、Rの第1行、第3行を用いて求まる。

【0288】 $r_{2i} = (-1)^{2+i} |R_{2i}|$

$$r = \frac{m_2 - (m, Rm') (Rm')_2}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_2 - (Rm')_2}{1 - (m, Rm')^2}$$

R_{2i} は行列Rから第1行と第i行を除いた部分行列である。

4) r, r'の計算式(距離計算部6による処理)

$(h, m) = m_2$ 、 $(h, Rm') = (Rm')_2$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0289】

【数177】

【0290】5. 10 運動条件 $\{R3, h1\}$ の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0291】

【数178】

$\{\underline{G}_k\}$ の $\{\underline{g}_i\}$

【0292】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0293】

【数179】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23}-h_3 & r_{22} & h_2 & r_{22}-h_3 & r_{23} \\ h_3 & h_1 & r_{23} & & -h_1 & r_{22} & \\ -h_2 & & h_1 & r_{22} & & h_1 & r_{23} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31}-g_{23} & g_{22} & g_{22} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \\ g_{32} \\ g_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \\ g_{32} \\ g_{11} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} & & I_6 & & \\ & & & & \\ & & & & \\ 0_{34} & & & I_2(+,-) & \\ & & & & \\ & & & & 0_{12} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} & & & & 0_{48} \\ & & & & \\ & & & & \\ I_6 & & & & \\ & & & & \\ & & & I_2(+,-) & 0_{21} \end{bmatrix}$$

【0294】1. 2)

【0295】

【数180】

 $\{\underline{m}_i\}$

【0296】の計算式(展開変数計算部24による処理)

【0297】

【数181】

 $\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, p} = {}^t A \{ \underline{M}_i \}_{i=1, \dots, p}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \\ \underline{m}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 & +\underline{M}_7 \\ \underline{M}_6 & -\underline{M}_8 \end{bmatrix}$$

【0298】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)、及び3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

【0299】

【数182】

$$h_2 = -g_{31}, \quad h_3 = g_{21}$$

a) $h_2 = h_3 = 0$ でないとき

$$r_{22} = (-h_3 g_{12} + h_2 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$r_{23} = (-h_2 g_{12} - h_3 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$h_1 = \begin{cases} r_{22} \neq 0 \text{ のとき ; } -g_{23} / r_{22} \\ r_{23} \neq 0 \text{ のとき ; } g_{22} / r_{23} \end{cases}$$

b) $h_2 = h_3 = 0$ のとき

$$h_1 = \pm 1$$

$$(r_{22}, r_{23}) = (-+g_{23}, +-g_{22})$$

【0300】3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

次の式2-4に、 $R=R3$ を代入して簡略化する。

従来通り

【0301】

【数183】

4) r, r' の計算式(距離計算部6による処理)

$$\begin{aligned} r &= \frac{(h, m) - (m, Rm') (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2} \\ r' &= \frac{(m, Rm') (h, m) - (h, Rm')}{1 - (m, Rm')^2} \end{aligned}$$

【0302】5. 11 運動条件 $\{R3, h2\}$ の場合

【0304】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

【0305】

1. 1)

【数185】

【0303】

【数184】

$\{G_i\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23} & h_2 & r_{22} \\ 0 & h_1 & r_{23} & -h_1 & r_{22} \\ -h_2 & h_1 & r_{22} & h_1 & r_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ 0 & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} - g_{23} & g_{22} & g_{22} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G_1} \\ \underline{G_2} \\ \underline{G_3} \\ \underline{G_4} \\ \underline{G_5} \\ \underline{G_6} \\ \underline{G_7} \\ \underline{G_8} \\ \underline{G_9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \\ g_{32} \\ g_{11} \\ g_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{31} \\ g_{22} \\ g_{23} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} & & I_5 \\ \cdots & & \cdots \\ 0_{4,1} & & I_2(+,-) \\ & & 0_2 \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} & & 0_{3,4} \\ I_5 & & \\ & & I_2(+,-) & 0_2 \end{bmatrix}$$

【0306】1. 2)

【0307】

【数186】

 $\{\underline{m}_i\}$

【0308】の計算式(展開変数計算部24による処理)

【0309】

【数187】

 $\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,p}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \\ \underline{m}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \\ \underline{M}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \\ \\ +\underline{M}_6 \\ -\underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

【0310】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)、及び3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

【0311】

【数188】

$$r_{22} = g_{13}/h_2, \quad r_{23} = -g_{12}/h_2$$

$$h_1 = \begin{cases} r_{22} \neq 0 \text{ のとき ; } -g_{23}/r_{22} \\ r_{23} \neq 0 \text{ のとき ; } g_{22}/r_{23} \end{cases}$$

【0312】3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

従来通り

4) r、r'の計算式(距離計算部6による処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を(,)

12で表すと、(h, m) = (h, m)₁₂、(h, R m') = (h, R m')₁₂であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0313】

【数189】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0314】5. 12 運動条件 {R3, h3} の場合

1) Gの計算式 (基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0315】

【数190】

【0316】への展開式 (基本行列要素展開部23による処理)

【0317】

【数191】

$\{G_i\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 & r_{23} - h_2 r_{22} & h_2 & r_{22} - h_2 r_{23} \\ h_3 & 0 & & 0 & \\ -h_2 & 0 & & 0 & \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & 0 & 0 \\ g_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \\ g_{32} \\ g_{11} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_4 & \\ \vdots & \\ 0_{54} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} I_4 & \vdots & 0_{45} \end{bmatrix}$$

【0318】1. 2)

【0319】

【数192】

$\{m_i\}$

【0320】の計算式 (展開変数計算部24による処理)

【0321】

【数193】

$\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,p}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \\ \underline{m}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ \underline{M}_2 \\ \underline{M}_3 \\ \underline{M}_4 \end{bmatrix}$$

【0322】2) h の計算式 (平行移動計算部4による処理)

基本行列 G が求まると、 $h_2 = -g_{31}$ 、 $h_3 = g_{21}$ も同時に求まり、3次元平行移動ベクトル h が求まる。

【0323】3) R の計算式 (回転計算部5による処理)

【0324】

【数194】

$$r_{22} = (-h_3 g_{12} + h_2 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

$$r_{23} = (-h_2 g_{12} - h_3 g_{13}) / (h_2^2 + h_3^2)$$

【0325】4) r 、 r' の計算式 (距離計算部6による処理)

3次元ベクトルの第2、第3成分に関する内積を $(\cdot, \cdot)_{23}$ で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{23}$ 、 $(h, R$

$m') = (h, Rm')_{23}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0326】

【数195】

$$r = \frac{(h, m)_{23} - (m, Rm') (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{23} - (h, Rm')_{23}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0327】5. 13 運動条件 $\{R3, h5\}$ の場合

1) G の計算式 (基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0328】

【数196】

【0329】への展開式 (基本行列要素展開部23による処理)

【0330】

【数197】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_2 r_{23} & h_2 r_{22} \\ 0 & h_1 r_{23} & -h_1 r_{22} \\ -h_2 & h_1 r_{22} & h_1 r_{23} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G}_1 \\ \underline{G}_2 \\ \underline{G}_3 \\ \underline{G}_4 \\ \underline{G}_5 \\ \underline{G}_6 \\ \underline{G}_7 \\ \underline{G}_8 \\ \underline{G}_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12} \\ g_{13} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_2 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 \\ h_1 & 0 & 0 \\ 0 & -h_1 & 0 \\ 0 & h_1 & 0 \\ h_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{23} \\ r_{22} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -h_2 I_2(+,-) & & & \\ & h_1 I_2(+,-) & & \\ & & 0_{31} & \\ & h_1 J_2 & & \\ & & & -h_2 \\ & 0_{32} & & 0 \\ & & & 0 \end{bmatrix}$$

$${}^t A = \begin{bmatrix} -h_2 I_2(+,-) & h_1 I_2(+,-) & h_1 J_2 & 0_{23} \\ & & & \\ & & & \\ & 0_{16} & & -h_2 \ 0 \ 0 \end{bmatrix}$$

【0331】1. 2)

【0332】

【数198】

 $\{\underline{m}_i\}$ $\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,9} = {}^t A \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,9}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_2 \underline{M}_1 + h_1 \underline{M}_3 + h_1 \underline{M}_6 \\ h_2 \underline{M}_2 - h_1 \underline{M}_4 + h_1 \underline{M}_5 \\ -h_2 \underline{M}_7 \end{bmatrix}$$

【0335】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

Rは、式 $r_{22} = g_{32}/h_1$ 、 $r_{23} = g_{33}/h_1$ により求まる。

【0333】の計算式(展開変数計算部24による処理)。

【0334】

【数199】

【0336】4) r、r'の計算式(距離計算部による処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を(,)₁₂で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{12}$ 、 $(h, R m') = (h, R m')_{12}$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0337】

【数200】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, Rm') (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') (h, m)_{12} - (h, Rm')_{12}}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0338】5. 14 運動条件 {R3, h6} の場合

1) Gの計算式 (基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0339】

【数201】

 $\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{23} & -r_{22} \\ 0 & r_{22} & r_{23} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G_1} \\ \underline{G_2} \\ \underline{G_3} \\ \underline{G_4} \\ \underline{G_5} \\ \underline{G_6} \\ \underline{G_7} \\ \underline{G_8} \\ \underline{G_9} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{23} \\ g_{22} \\ g_{32} \\ g_{33} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{22} \\ r_{23} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -I_2(+, -) \\ \cdots \\ I_2 \\ \cdots \\ 0_{52} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} -I_2(+, -) & \vdots & I_2 & \vdots & 0_{25} \end{bmatrix}$$

【0342】1. 2)

【0343】

【数203】

 $\{\underline{m}_i\}$

【0340】への展開式 (基本行列要素展開部23による処理)

【0341】

【数202】

【0344】の計算式 (展開変数計算部24による処理)

【0345】

【数204】

$\{\underline{m}_i\} \ i=1, \dots, p = {}^t A \ \{\underline{M}_i\} \ i=1, \dots, p$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 & \underline{M}_3 \\ \underline{M}_2 & \underline{M}_4 \end{bmatrix}$$

【0346】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

Rは、式 $r_{22}=g_{32}$ 、 $r_{23}=g_{33}$ により求まる。

【0347】4) r、r'の計算式(距離計算部による処理)

$(h, m) = m_1$ 、 $(h, Rm') = m_1'$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0348】

【数205】

$$r = \frac{m_1 - (m, Rm') m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_1 - m_1'}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -r_{22} & r_{22} \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{G}_1 \\ \underline{G}_2 \\ \underline{G}_3 \\ \underline{G}_4 \\ \underline{G}_5 \\ \underline{G}_6 \\ \underline{G}_7 \\ \underline{G}_8 \\ \underline{G}_9 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} g_{18} \\ g_{12} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{23} \\ g_{32} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{22} \\ r_{23} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_s(t, -) \\ \vdots \\ 0_{63} \end{bmatrix}, \quad {}^t A = \begin{bmatrix} I_s(t, -) & \vdots & 0_{38} \end{bmatrix}$$

【0353】1. 2)

【0354】

【0349】5. 15 運動条件 {R3, h7} の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1. 1)

【0350】

【数206】

$\{\underline{G}_i\}$ の $\{\underline{g}_i\}$

【0351】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0352】

【数207】

【数208】

 $\{\underline{m}_i\}$

理)

【0356】

【数209】

【0355】の計算式(展開変数計算部24による処

 $\{\underline{m}_i\}_{i=1,\dots,p} = 'A \{\underline{M}_i\}_{i=1,\dots,p}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \\ \underline{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 \\ -\underline{M}_2 \\ -\underline{M}_3 \end{bmatrix}$$

【0357】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

hは既知である。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

3次元回転行列Rは、式 $r_{22}=g_{13}$ 、 $r_{23}=-g_{12}$ により求まる。

【0358】4) r、r'の計算式(距離計算部6による処理)

 $(h, m) = m_2$ 、 $(h, Rm') = r_{22}m_2' + r_{23}m_3'$ であるから、下式のように計算を簡略化できる。

【0359】

【数210】

$$r = \frac{m_2 - (m, Rm') (r_{22}m_2' + r_{23}m_3')}{1 - (m, Rm')^2}$$

$$r' = \frac{(m, Rm') m_2 - (r_{22}m_2' + r_{23}m_3')}{1 - (m, Rm')^2}$$

【0360】5.16 運動条件{R4, h1}の場合

1) Gの計算式(基本行列計算部3による処理)

1.1)

【0361】

【数211】

 $\{\underline{G}_i\}$ の $\{\underline{g}_i\}$

【0362】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0363】

【数212】

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -h_3 & h_2 \\ h_3 & 0 & -h_1 \\ -h_2 & h_1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & g_{12} & g_{13} \\ -g_{12} & 0 & g_{23} \\ -g_{13} & -g_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{32} \\ g_{13} \\ g_{21} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{12} \\ g_{11} \\ g_{22} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_3 \\ \hline -I_3 \\ \hline 0_3 \end{bmatrix}, \quad A = \left[\begin{array}{c|c|c} I_3 & -I_3 & 0_3 \end{array} \right]$$

【0364】1. 2)

【0365】

【数213】

 $\{m_i\}$

【0366】の計算式（展開変数計算部24による処理）

【0367】

【数214】

$\{m_i\}_{i=1, \dots, 9} = A \{M_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 & -M_4 \\ M_2 & -M_5 \\ M_3 & -M_6 \end{bmatrix}$$

【0368】2) hの計算式（平行移動計算部4による処理）

3次元平行移動ベクトルhは、式 $h_1 = -g_{23}$ 、 $h_2 = g_{13}$ 、 $h_3 = -g_{12}$ により求まる。

【0369】3) Rの計算式（回転計算部5による処理）

既知である。

4) r、r'の計算式（距離計算部6による処理）
R=Iにより下式を得る。

【0370】

【数215】

$$r = \frac{(h, m) - (m, m') (h, m')}{1 - (m, m')^2}$$

$$r' = \frac{(m, m') (h, m) - (h, Rm')}{1 - (m, m')^2}$$

【0371】5. 17 運動条件 {R4, h2} の場合

1) Gの計算式（基本行列計算部3による処理）

1. 1)
【0372】
【数216】

$\{G_k\}$ の $\{g_i\}$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & h_2 \\ 0 & 0 & -h_1 \\ -h_2 & h_1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & g_{13} \\ 0 & 0 & g_{23} \\ -g_{13} & -g_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \\ G_5 \\ G_6 \\ G_7 \\ G_8 \\ G_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{32} \\ g_{13} \\ g_{23} \\ g_{31} \\ g_{11} \\ g_{12} \\ g_{21} \\ g_{22} \\ g_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} I_2 & \\ & -I_2 \\ & & 0_{22} \end{bmatrix}, \quad {}^tA = \begin{bmatrix} I_2 & & \\ & -I_2 & \\ & & 0_{22} \end{bmatrix}$$

【0375】1. 2)
【0376】
【数218】

$\{\underline{m}_i\}$

$\{\underline{m}_i\}_{i=1, \dots, 9} = {}^tA \{\underline{M}_i\}_{i=1, \dots, 9}$ を計算すると下式になる。

$$\begin{bmatrix} \underline{m}_1 \\ \underline{m}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{M}_1 & \underline{M}_3 \\ \underline{M}_2 & \underline{M}_4 \end{bmatrix}$$

【0379】2) hの計算式(平行移動計算部4による処理)

3次元平行移動ベクトルhは、式 $h_1 = -g_{23}$ 、 $h_2 = g_{13}$ により求まる。

3) Rの計算式(回転計算部5による処理)

Rは既知である。

【0380】4) r、r'の計算式(距離計算部6による処理)

【0373】への展開式(基本行列要素展開部23による処理)

【0374】

【数217】

【0377】の計算式(展開変数計算部24による処理)

【0378】

【数219】

る処理)

3次元ベクトルの第1、第2成分に関する内積を、 $(\cdot, \cdot)_{12}$ で表すと、 $(h, m) = (h, m)_{12}$ 、 $(h, Rm') = (h, Rm')_{12}$ である。また、 $R=I$ であるから下式を得る。

【0381】

【数220】

$$r = \frac{(h, m)_{12} - (m, m')_{12}}{1 - (m, m')^2}$$

$$r' = \frac{(m, m')_{12} - (h, m')_{12}}{1 - (m, m')^2}$$

【0382】§6：応用例1の説明・・・図5のA図参照

図5は応用例の説明図であり、A図は応用例1を示した図である。応用例1は、前記実施の形態で説明した3次元情報復元装置を自動制御装置に適用した例である。この自動制御装置は、いわゆるロボットであり、FA装置、監視装置などが代表的なものである。

【0383】図示のように、自動制御装置には、運動条件設定部10、画像入力部1、対応点検出部2、基本行列計算部3、平行移動計算部4、回転計算部5、及び距離計算部6からなる3次元情報復元装置と、前記3次元情報復元装置から出力されたデータを使用して機構部の制御を行う制御部29で構成されている。

【0384】この場合、制御部29では、前記平行移動計算部4、回転計算部5、及び距離計算部6から出力されるデータを内部のメモリに格納し、前記メモリのデータを使用して前記機構部の各種制御を行う。

【0385】§7：応用例2の説明・・・図5のB図参照

図5は応用例の説明図であり、B図は応用例2を示した図である。応用例2は、前記実施の形態で説明した3次元情報復元装置をCGデータ作成装置に適用した例である。このCGデータ作成装置は、3次元CGデータを自動的に作成する装置である。

【0386】図示のように、CGデータ作成装置には、運動条件設定部10、画像入力部1、対応点検出部2、基本行列計算部3、平行移動計算部4、回転計算部5、及び距離計算部6からなる3次元情報復元装置と、前記3次元情報復元装置から出力された3次元情報を格納しておくCGデータ格納部30で構成されている。

【0387】この場合、CGデータ格納部30には、前記平行移動計算部4、回転計算部5、及び距離計算部6から出力される3次元情報を格納し、3次元CG装置における描画用データとして利用する。3次元CGデータは、通常3次元CAD等で作成されるが、工数が多くなるので、前記CGデータ作成装置により自動作成する。

【0388】(他の実施の形態)以上実施の形態について説明したが、本発明は次のようにしても実施可能である。

【0389】(1)：画像入力は、TVカメラ(又はビデ

オカメラ)に限らず、他の任意の撮像装置(各種カメラ類)で実現可能である。

(2)：前記3次元情報復元装置は、自動制御装置や、CGデータ作成装置に限らず、他の3次元情報を使用する各種装置に適用可能である。

【0390】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば次のような効果がある。

(1)：従来よりも少ない対応点により、2次元画像情報から3次元情報の復元処理を行うことが可能になる。このため、従来3次元復元が不可能であった画像に対して、3次元情報の復元をすることが可能になる。

【0391】(2)：カメラの個別の運動条件毎に、従来より直接的な計算で3次元復元可能であるため、3次元復元のための計算量が少なく済む。また、計算による誤差が少なくなり正確な3次元復元処理を行うことが可能になる。

【0392】(3)：運動条件の簡約化により、従来よりも少ない対応点で2次元画像情報から3次元情報の復元が可能になる。従って、3次元情報復元装置の処理が簡単になり、コストダウンが可能になる。また、自動制御装置やCGデータ作成装置等への応用が容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理説明図である。

【図2】実施の形態の装置構成図である。

【図3】実施の形態における各部の構成図(その1)である。

【図4】実施の形態における各部の構成図(その2)である。

【図5】実施の形態における応用例の説明図である。

【図6】従来例の装置構成図である。

【符号の説明】

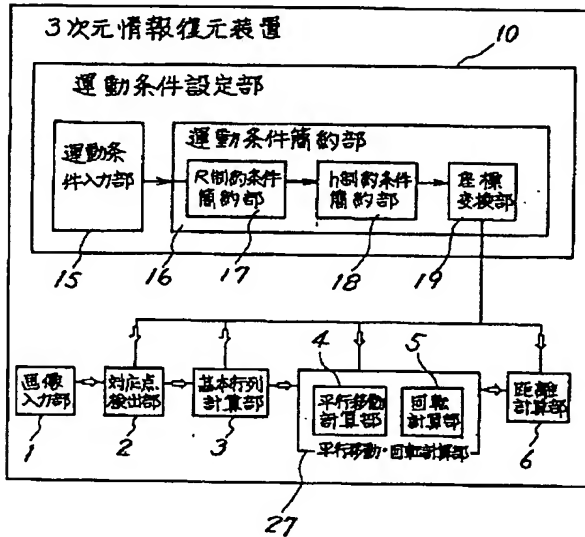
- 1 画像入力部
- 2 対応点検出部
- 3 基本行列計算部
- 4 平行移動計算部
- 5 回転計算部
- 6 距離計算部
- 10 運動条件設定部
- 11 データ格納部
- 15 運動条件入力部

- 16 運動条件簡約部
- 17 R制約条件簡約部
- 18 h制約条件簡約部
- 19 座標変換部
- 21 対応点数判定部

- 22 対応点座標決定部
- 23 基本行列要素展開部
- 24 展開変数計算部
- 25 基本行列要素展開部
- 27 平行移動・回転計算部

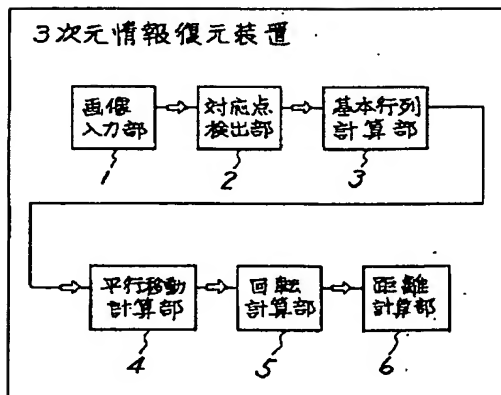
【図1】

本発明の原理説明図



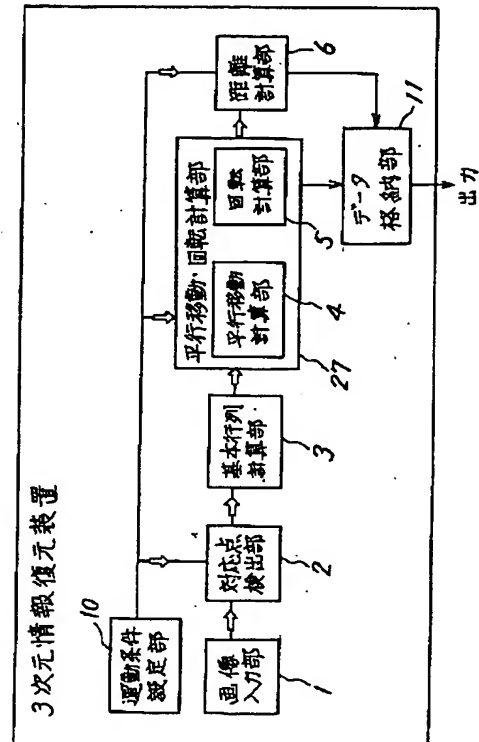
【図6】

従来例の装置構成図



【図2】

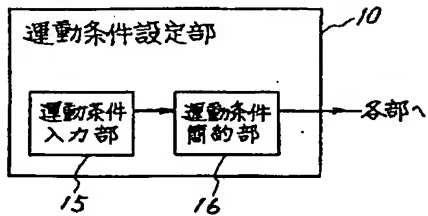
実施の形態の装置構成図



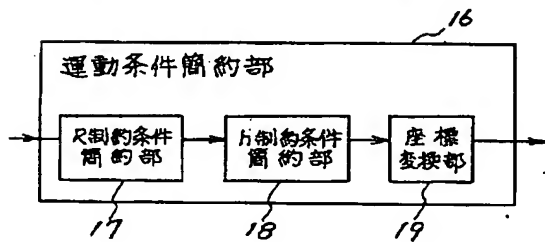
【図3】

各部の構成図 (その1)

A: 運動条件設定部の全体構成図



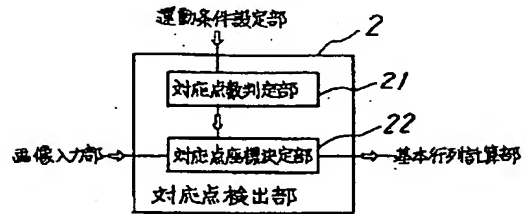
B: 運動条件簡約部の構成図



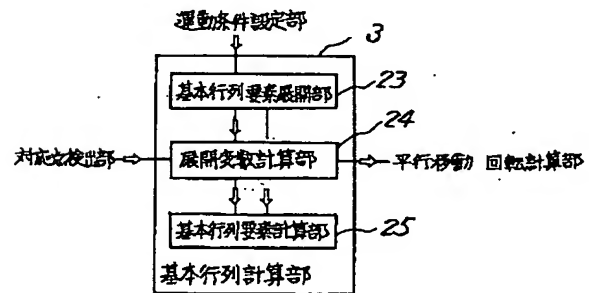
【図4】

各部の構成図 (その2)

A: 対応点検出部の構成図



B: 基本行列計算部の構成図



【図5】

応用例の説明図

